

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES BASEADO EM MODELOS
DE PREVISÃO, SIMULAÇÃO E ALOCAÇÃO: CASO DE UMA
EMPRESA DO SETOR ELÉTRICO**

Magda Alexandra De Bona Magro

Porto Alegre, 2003

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Dimensionamento de equipes baseado em Modelos de Previsão,
Simulação e Alocação: Caso de uma Empresa do Setor Elétrico**

Magda Alexandra De Bona Magro

Orientador: Professor Luiz Afonso dos Santos Senna Ph.D

Banca Examinadora:

Professor João Luiz Becker, Ph.D

Prof. PPGA / UFRGS

Professora Ana Maria Volkmer de Azambuja da Silva, Dr^a

FURG

Professor Emílio Merino Dominguez, Dr.

Prof. PPGEP / UFRGS

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Área de concentração: Sistemas de Transportes e Logística

Porto Alegre, dezembro de 2003

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, Ph.D.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientador

Prof. José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

João Luiz Becker, Ph.D

Prof. PPGA / UFRGS

Ana Maria Volkmer de Azambuja da Silva, Dr^a

FURG

Emílio Merino Dominguez, Dr.

Prof. PPGEP / UFRGS

AGRADECIMENTOS

Com carinho, gostaria de agradecer:

Ao meu orientador Luiz Afonso dos Santos Senna.

Ao professor e amigo Fernando Dutra Michel por sua dedicação e sabedoria, e pelo apoio e confiança que dispensou durante a realização dessa dissertação.

Ao professor Flávio Fogliatto por ter me ajudado a dar início no desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos do Lastran, bolsistas, mestrandos, doutorandos pela amizade e compreensão que demonstraram sempre.

À UFRGS e ao PPGEF que, através de seus professores e funcionários, proporcionaram o desenvolvimento de pesquisa na área de Logística.

À minha Família: Francisco, Lorena e Tânia, pelo amor, carinho e incentivo que encontrei em todos os momentos, atributos indispensáveis para a concretização desse sonho.

Ao João Alfredo Spada, Diretor de Operações da empresa Rio Grande Energia - RGE, pela oportunidade profissional e por ter acreditado em mim.

A RGE pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado.

ÍNDICE

LISTA DAS FIGURAS.....	vii
LISTAS DE TABELAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.1.1 Objetivo Principal.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos	4
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	4
1.3 MÉTODO	4
1.4 DELIMITAÇÕES.....	6
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	6
CAPÍTULO 2 – Previsão de Demanda	8
2.1 TÉCNICAS DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	8
2.1.1 Metodologia das Técnicas Quantitativas de Previsão	11
2.1.2 Análises de Séries Temporais.....	13
2.1.2.1 Modelos de Suavização Exponencial de Winters.....	14
2.1.3 Análises dos Erros de Previsão.....	15
2.2 MÉTODO ABC.....	17
CAPÍTULO 3 – Simulação.....	18
3.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	19
3.1.1 Conceito de Simulação Computacional.....	20
3.1.2 Vantagens e Desvantagens do uso da Simulação	22
3.1.3 Classificação da Simulação	24
3.1.3.1 Determinística ou Probabilística.....	24
3.1.3.2 Estática ou Dinâmica	25
3.1.3.3 Discreta ou Contínua	25
3.1.4 Etapas de um estudo de simulação	25

3.1.5 Evolução das técnicas de simulação.....	30
3.2 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS (Taxa de chegada)	33
CAPÍTULO 4 – Alocação de Recursos	35
4.1 TÉCNICAS DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS	35
4.1.1 Problemas de escala de dias de trabalho (<i>days off scheduling</i>)	38
4.1.2 Problemas de escala de turnos de trabalho (<i>shift scheduling</i>)	40
4.1.3 Problemas de escala de jornada de trabalho (<i>tour scheduling</i>)	43
CAPÍTULO 5 – MÉTODO PROPOSTO	45
5.1 MODELO DE PREVISÃO	46
5.2 MODELO DE SIMULAÇÃO	47
5.3 MODELO DE ALOCAÇÃO	52
CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO.....	55
6.1 A EMPRESA.....	55
6.2 ANÁLISES PRELIMINARES DAS ATIVIDADES REALIZADAS PELAS EQUIPES DE ELETRICISTAS	58
6.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO	64
6.3.1 Análise da Série Temporal do Grupo Ligação	66
6.3.2 Análise da Série Temporal do Grupo Medição e Indenização	68
6.3.3 Análise da Série Temporal do Grupo Divisão Técnica	69
6.3.4 Análise da Série Temporal do Grupo Outras.....	71
6.3.5 Análise da Série Temporal do Grupo Restabelecimento.....	73
6.3.6 Resumo dos resultados gerados com o Modelo de Previsão	76
6.4 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	77
6.4.1 Etapa da validação do modelo de simulação	77
6.4.2 Etapa de simulação com os dados da previsão de demanda.....	80
6.4.3 Resumo sobre os resultados gerados com o Modelo de Simulação	81
6.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE ALOCAÇÃO	82
6.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	82
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	86
7.1 CONCLUSÕES	86
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	94

LISTA DAS FIGURAS

Figura 1.1 -Áreas de concessão da RGE, AES Sul e CEEE no Estado do Rio Grande do Sul - Brasil.....	2
Figura 2.1: Exemplo de componentes da demanda (fonte: Fitzsimmons & Fitzsimmons,1998)	13
Figura 3.1: Caminhos para estudar um sistema (Fonte: Law e Kelton,1991)	19
Figura 3.2: Etapas de um estudo de simulação (Fonte: Law e Kelton,1991).....	27
Figura 4.1: Estratégias para equilibrar o fornecimento e a demanda por serviços.....	36
Figura 5.1: Modelo Geral	45
Figura 5.2: Descrição dos processos básicos de acordo com o modelo de simulação estipulado.....	50
Figura 5.3: Modelo completo de simulação	51
Figura 5.4: Mostra o número de equipes necessárias para o atendimento	53
Figura 6.1: Pareto com a % de ocorrências geradas em um ano de empresa.....	59
Figura 6.2: Proporção dos Grandes Grupos	63
Figura 6.3: Análise da previsão de demanda do Grupo Ligação.....	66
Figura 6.4: Análise da previsão de demanda do Grupo Medição e Indenização.....	68
Figura 6.5: Análise da previsão de demanda do Grupo Divisão Técnica.....	70
Figura 6.6: Análise da previsão de demanda do Grupo Outras	72
Figura 6.7: Análise da previsão de demanda do Grupo Restabelecimento	74
Figura 6.8: Número de Equipes X TACu (Tempo de Atendimento ao Consumidor Urbano). 84	84
Figura 6.9: Número de Equipes X TACr (Tempo de Atendimento ao Consumidor Rural).....	84
Figura 6.10: Número de Equipes X TMA (Tempo Médio de Atendimento).....	85

LISTAS DE TABELAS

Tabela 2.1: Cacterísticas das técnicas de previsão de demanda mais comuns.....	10
Tabela 3.1: Evolução dos sistemas de simulação	31
Tabela 3.2: Pacotes de softwares de simulação	33
Tabela 4.1: Exemplo da não sobreposição de turnos.....	41
Tabela 4.2: Exemplo de sobreposição de turnos	41
Tabela 6.1: Atividades executadas pelas equipes de eletricitas da empresa.....	55
Tabela 6.2: Atividades pertencentes ao grupo A e B	61
Tabela 6.3: Características dos Grupos de Atividades	63
Tabela 6.4: Série temporal com dados espúrios ajustados de demanda dos Grupos.....	65
Tabela 6.5: Dados do modelo para o Grupo Ligação	66
Tabela 6.6: Resultados da previsão para o grupo Ligação no horizonte de um ano.	67
Tabela 6.7: Dados do modelo ajustado para o Grupo Medição e Indenização	68
Tabela 6.8: Resultados da previsão para o grupo Medição e Indenização no horizonte de um ano.	69
Tabela 6.9: Dados do modelo ajustado para o Grupo Divisão Técnica	70
Tabela 6.10: Resultados da previsão para o grupo Divisão Técnica no horizonte de um ano.	71
Tabela 6.11: Dados do modelo ajustado para o Grupo Outras.....	72
Tabela 6.12: Resultados da previsão para o grupo Outras no horizonte de um ano.....	73
Tabela 6.13: Dados do modelo ajustado para o Grupo Restabelecimento	74
Tabela 6.14: Resultados da previsão para o grupo Restabelecimento no horizonte de um ano.	75
Tabela 6.15: Resumo dos ajustes obtidos na modelagem dos grupos do estudo de caso.....	76
Tabela 6.16: Dados finais para a geração de atividades no modelo de simulação	76
Tabela 6.17: Dados históricos para a validação do modelo de simulação	78
Tabela 6.18: Número de ordens de serviço geradas após simulação e dados reais da empresa para a validação do modelo de simulação	79
Tabela 6.19: Tempo médio de Atendimento gerado após Simulação e dados reais da Empresa para a validação do modelo de simulação.	80

Tabela 6.20: Dados de entrada para as simulações	80
Tabela 6.21: Cenários criados e os resultados de tempo médio de atendimento da simulação	81
Tabela 6.22: Escalas criadas para o modelo de alocação	82
Tabela 6.23: Número de equipes	82
Tabela 6.24: Resumo Geral dos Resultados	83

RESUMO

O bom dimensionamento de equipes contribui para o aumento do nível dos serviços prestados pelas empresas, com o menor custo possível. Uma alternativa para abordar a questão foi dimensionar as equipes de eletricitas, de uma empresa do setor elétrico, (utilizando técnicas de previsão de demanda, de simulação e de alocação) para atender de forma otimizada, a demanda variável das atividades prestadas - fornecimento de energia. Um equilíbrio entre a demanda por serviços e a capacidade de execução da empresa evitaria longas filas de espera dos clientes e servidores (eletricistas) ociosos. Cinco etapas foram cumpridas: fase exploratória, coleta de dados, previsão de demanda e simulação do processo e alocação do recurso. Na primeira houve um entendimento de como chegava o pedido do serviço na empresa até a finalização da ordem de serviço. Na coleta de dados foram levantados aproximadamente 80 tipos diferentes de atividades desenvolvidas pelos eletricitas e classificadas de acordo com a prioridade de urgência, prazos de atendimento dos serviços e afinidade de execução das tarefas. Nesta etapa ainda foram coletados os volumes de serviços gerados e tempos médios de deslocamento e execução das atividades. Na terceira etapa foi utilizado um software de previsão de demanda chamado *Forecast Pro*, possibilitando a escolha automática do modelo de previsão mais apropriado para a série histórica em estudo. Na quarta etapa, foi utilizado um software de simulação de processos chamado *Arena*. Desenvolveu-se um modelo do processo real com os respectivos dados de entrada dos serviços, tempos de deslocamento e execução e número de equipes. Na última etapa, utilizando a ferramenta *Solver* do Excel otimizou-se o número de equipes. Um dos resultados da ação foi obter vários cenários com a variação do número de equipes e seus respectivos tempos médios de atendimento, sem causar nenhum dano para a empresa, podendo assim ser analisado qual o melhor cenário para ser implementado na companhia, minimizando o problema.

ABSTRACT

The measure of teams contributes to improve the quality of the services offered by the company, at the lowest cost possible. An alternative to study this question was to determine the number the electrician teams of an electric energy company (using demand forecast, simulation and allocation techniques) to support, in a optimized way, the variable demand of the activities offered – energy supply. A balance between the demand for services and the company's capacity of executing them would prevent long waiting lines of customers and idle service providers (electricians). Five stages were followed: exploratory stage, data survey, demand forecast, process simulation and use of the resource. On the first stage there was the understanding of how the service order arrived at the company and how it was dealt with until its closing. On data survey stage, approximately 80 different kinds of activities executed by the electricians were listed and classified according to its priority, concerning urgency, time spent in service and the affinity of the executed tasks. On this stage, the number of services generated was also surveyed, as well as the average time for displacement and tasks execution. On the third stage, it was used a software for demand forecast, named Forecast Pro, allowing the automatic choice of the most appropriate forecast model to the historical series researched. On the forth stage, a software for process simulation called Arena was used. A model of the real process was developed, with the respective data for insert of services, displacement and execution times and number of teams. On the last stage, using Excel's Solver tool, the number of teams was optimized. One of the outcomes of this action was the various scenarios showed with the variation in the number of teams and their average times in support services, which did not affect the company's job, so there was the possibility of analyzing with was the best scenario to be adopted by the company to minimize the problem.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A maioria das empresas de serviços competem em um ambiente econômico em geral composto por grande número de pequenas e médias empresas, a maioria delas de propriedade privada. O dimensionamento de equipes é uma alternativa para obter bons resultados no planejamento de capacidade. As empresas prestadoras de serviços necessitam buscar atendimento de qualidade com o menor custo possível. Tornou-se uma condição essencial, com o aumento da competitividade entre elas, dimensionar suas equipes.

No estado do Rio Grande do Sul, o setor elétrico passou por grandes mudanças. Desde 1997 a distribuição de energia está sendo feita por três empresas: a CEEE, a AESSul e a Rio Grande Energia - RGE. Cada uma responsável por aproximadamente 1/3 da área do estado (ver figura 1.1). Este serviço tem características de monopólio, instituído pelo poder concedente, na distribuição de energia elétrica a clientes considerados cativos, cujo consumo é de até 3 MWh. Acima desse valor, o cliente torna-se potencialmente livre, podendo ser atendido por outras empresas de distribuição, muito embora esteja na área de concessão.

O estudo que serviu de base a essa dissertação foi desenvolvido na empresa Rio Grande Energia – RGE. A área de abrangência da empresa está em 254 Municípios do Estado do Rio Grande do Sul, possui 90,372 mil Km², prestando serviço para aproximadamente 1.020 milhões de contratos e 3,3 milhões de habitantes (fonte: RGE – setembro 2003).

A empresa Rio Grande Energia S.A. - RGE, cuja natureza das atividades é de prestação de serviço público de distribuição de energia elétrica, preocupada com a concorrência e com a disputa de novos mercados, percebeu que a maioria dos clientes fica insatisfeito por ter que esperar para ser atendido e porque o tempo de atendimento é alto. A velocidade de prestação do serviço pode ser vista como uma vantagem competitiva no

mercado, portanto, o gerenciamento desses tempos é um desafio constante para os gerentes de serviços.

Um dos grandes desafios enfrentados pelas empresas é encontrar o ponto de equilíbrio entre a oferta e a demanda em um ambiente dinâmico. A capacidade de execução dos serviços é um bem perecível, ao contrário dos produtos que podem ser armazenados em depósitos para consumo futuro.

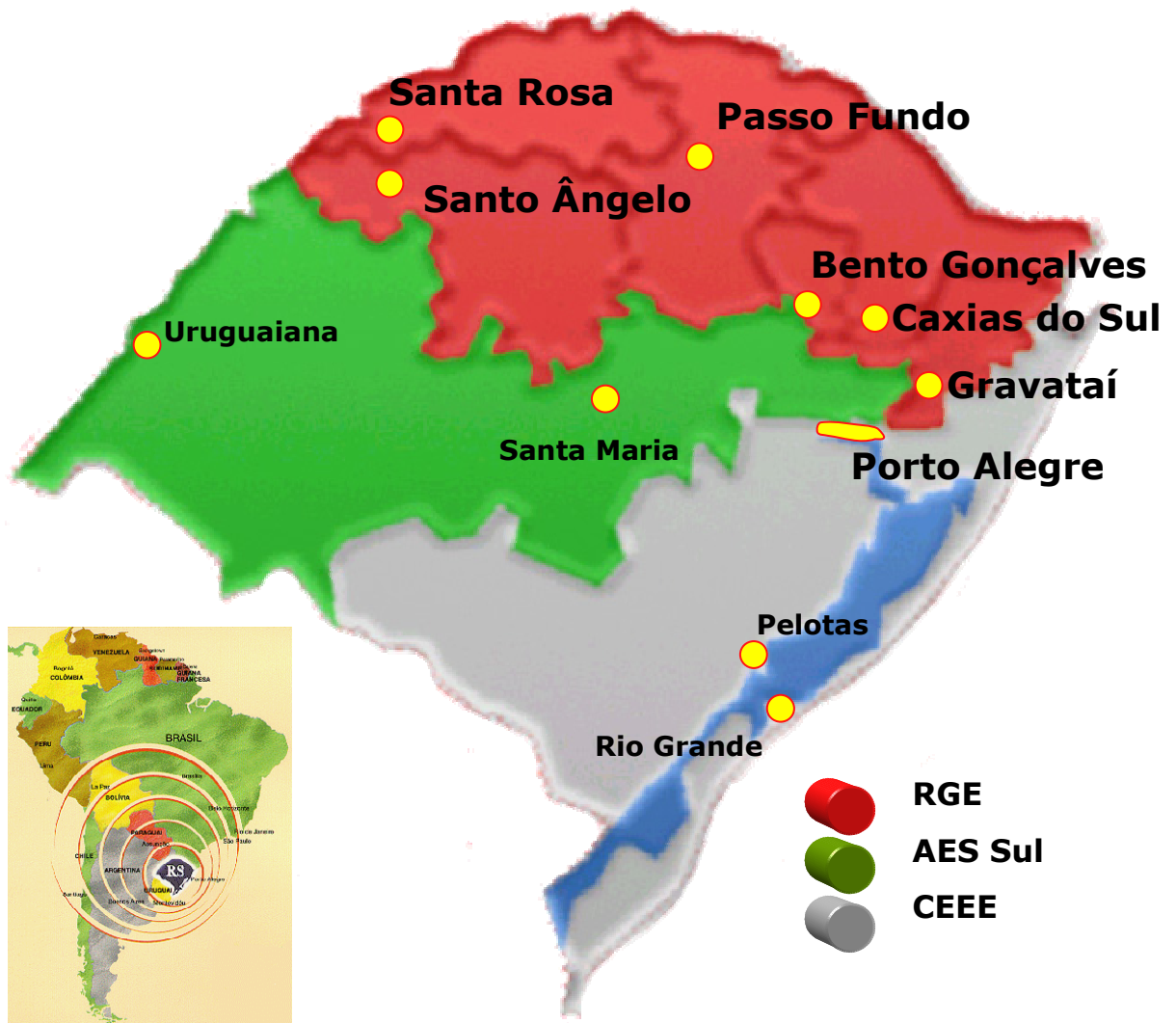


Figura 1.1 - Áreas de concessão da RGE, AES Sul e CEEE no Estado do Rio Grande do Sul - Brasil

A dificuldade em lidar com as flutuações na demanda por serviços decorre do fato de a produção e o consumo dos serviços ocorrerem simultaneamente. Quando a demanda por um serviço é menor do que a capacidade disponível, tem-se instalações e servidores ociosos. Por

outro lado, clientes chegam aleatoriamente e apresentam uma demanda imediata por serviços disponíveis. Se a capacidade de serviço está sendo completamente utilizada no momento de sua chegada, então, ou o cliente vai embora, ou o cliente aguarda pacientemente na fila para ser atendido. Variações na taxa de chegada e nos tempos de atendimento resultam na formação de filas.

Os eletricitistas representam aproximadamente 30% do número total de funcionários em uma empresa de distribuição de energia. Essa mão-de-obra é destinada ao atendimento de clientes em atividades de fornecimento e restabelecimento de energia. Verificar se o número de eletricitistas contratados pela empresa é suficiente para atender a demanda é uma tarefa complexa.

O problema proposto pela RGE foi o desenvolvimento de um método com o objetivo de quantificar e otimizar o número das equipes de trabalho compostas por eletricitistas para atender a demanda futura de serviços. A maior parte dos funcionários de uma distribuidora de energia elétrica é constituída por eletricitistas. Logo, um mau dimensionamento desse pessoal irá acarretar um custo desnecessário.

A formação de uma equipe passa por diversas fases: recrutamento, treinamento (demorado e custoso) e aperfeiçoamento das técnicas de operação para executar as atividades. Assim, o estudo foi realizado com o objetivo de auxiliar no planejamento estratégico da empresa para estabelecer o número de vagas: não se tem a intenção de realizar o dimensionamento e a alocação de equipes no planejamento operacional diário em tempo real.

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

1.1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é elaborar um método de dimensionamento de equipes em uma empresa prestadora de serviços, levando em consideração a demanda futura representada por Ordens de Serviço (OS).

1.1.2 Objetivos Específicos

Com o propósito de alcançar o objetivo principal deste estudo, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos:

- a) Desenvolver um método para prever o número de ordens de serviço no futuro;
- b) Avaliar qual a relação existente entre o número de equipes de eletricitistas e o tempo médio de atendimento das atividades;
- c) Otimização do quadro de funcionários na jornada diária.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Muitas empresas possuem métodos empíricos de dimensionamento de equipes de eletricitistas. A escala do pessoal é feita com base na experiência dos supervisores. Entretanto, percebe-se que se formam filas e o tempo médio de atendimento está acima do desejado. A opção das empresas tem sido, historicamente, contratar mais equipes, mas permanece a dúvida sobre o motivo de não se conseguir atender o cliente no tempo desejado: faltam recursos humanos ou existem falhas no processo de operação?

A necessidade de saber quantas equipes realmente são necessárias para atender a demanda de serviços das empresas é grande, pois pode auxiliar na tomada de decisão do gerente de serviços. Por esse motivo será desenvolvido nesta dissertação um método que auxilie as empresas a otimizar a sua equipe de trabalho, sem esquecer a qualidade do serviço.

1.3 MÉTODO

Para dimensionar quantas equipes são necessárias ao atendimento da demanda de serviços da empresa foi necessário efetuar o estudo em várias etapas. Para cada etapa foi utilizado um modelo e os resultados do modelo foram os dados de entrada do modelo seguinte. Assim, a estrutura do modelo geral é composta por três modelos distintos: Modelo de Previsão, Modelo de Simulação e Modelo de Alocação.

Na etapa de desenvolvimento do Modelo de Previsão, foram levantados quais os serviços prestados pela empresa e seu processo de atendimento. Estabeleceram-se quais atividades têm maior volume de demanda e iniciou-se a coleta dos dados necessários para compreensão do comportamento da demanda de atividades solicitadas pelos clientes. Utilizando o software *Forecast Pro*, (Stellwagen e Goodrich, 1999), foi modelada a previsão de demanda para o ano seguinte.

Conhecida a demanda futura da empresa, foi possível partir para a etapa de simulação. Nesse momento, foi necessário conhecer em detalhes a operação de atendimento ao cliente. Foi preciso coletar uma série de tempos, identificar quais atividades possuem prioridade de execução sobre as outras, prazos legais de atendimento, o local onde será executada a tarefa, etc.

Na etapa de simulação, o modelo foi construído com a ajuda do software Arena (PARAGON, 2000). Esse modelo imita o processo de atendimento da empresa. Dados reais foram submetidos para calibrar e validar o modelo. Após isso, foi possível testar vários cenários, até chegar ao resultado: quantas equipes são necessárias ao longo do dia para atender as atividades dentro do prazo especificado.

Os softwares *Forecast Pro* e *Arena* foram utilizados porque já eram softwares utilizados por especialistas na empresa.

O modelo de alocação foi a etapa final. Nesse momento foi otimizada a utilização das várias equipes alocadas para o atendimento diário. A alocação revelou o número total de equipes necessárias para o atendimento daquela quantidade prevista de serviços. Nesta etapa foi utilizada a ferramenta Solver do Excel (Microsoft Excel for Windows, 2000).

Ao final, vários cenários são gerados e, com os seus resultados, pode-se conhecer o comportamento das duas variáveis de interesse: tempo de atendimento e número de equipes. Plotando em um gráfico os resultados dessas duas variáveis de interesse, pode traçar uma curva que permite avaliar, por exemplo, o quanto é necessário aumentar o número de equipes para obter uma determinada redução no tempo no atendimento.

1.4 DELIMITAÇÕES

A abrangência do trabalho desenvolvido nessa dissertação é limitada por:

- a) Este trabalho foi realizado em uma empresa do setor elétrico do segmento de distribuição de energia. Portanto, a extensão dos resultados obtidos para outros setores depende de análise específica.
- b) O estudo não inclui uma análise financeira do investimento necessário para a implementação do dimensionamento proposto.
- c) O estudo de caso, voltado à otimização dos processos de prestação do serviço, analisa apenas o âmbito interno da empresa.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação será estruturada em 6 capítulos, descritos a seguir.

No capítulo 1, a Introdução, busca-se prover informações para a compreensão do trabalho realizado. Define-se, neste capítulo, o tema a ser abordado, os objetivos pretendidos, a justificativa do trabalho, a metodologia utilizada, as limitações e a estrutura da dissertação.

Nos capítulos 2, 3 e 4, é apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos que tangem o estudo a ser realizado. No capítulo 2, são abordados os seguintes assuntos: previsão de demanda e Método ABC. No capítulo 3, são apresentados o contexto teórico de simulação computacional e distribuição exponencial. Por último, no capítulo 4, é apresentada a revisão bibliográfica de alocação de recursos.

No capítulo 5, são propostas as etapas de desenvolvimento do método para a elaboração do dimensionamento de equipes na empresa em estudo.

No capítulo 6, é apresentado o estudo realizado em uma empresa do setor elétrico, que atua no segmento de distribuição de energia. São analisados os resultados e as possíveis oportunidades de melhorias no processo.

No capítulo 7, a dissertação é finalizada com a apresentação das conclusões obtidas com o estudo, buscando responder aos objetivos propostos. São relatadas as dificuldades encontradas no processo e sugestões de futuros desenvolvimentos do trabalho.

CAPÍTULO 2 – Previsão de Demanda

Este capítulo aborda, primeiramente, o referencial teórico relacionado com um dos elementos do método desenvolvido para dimensionamento de equipes: técnicas de previsão de demanda. Através de relatos de estudos como o de Jacobs (1993) que utilizou a previsão de demanda para fornecer informações diárias sobre a demanda futura de serviços, pretende-se estabelecer a relevância dessa etapa para a solução de problemas dessa espécie. Em seguida, é abordado o método ABC, para auxiliar na determinação da priorização dos serviços com volume de demanda significativo.

2.1 TÉCNICAS DE PREVISÃO DE DEMANDA

As técnicas de previsão de demanda permitem traduzir as inúmeras informações disponíveis nos bancos de dados em estratégias que resultem em uma vantagem competitiva para as empresas de serviços. Cada vez mais, as empresas estão reconhecendo a importância da previsão de demanda em todos os níveis de uma organização. A revisão teórica desse item, técnicas de previsão de demanda, está baseada, principalmente, nos autores Makridakis *et al.* (1998).

As funções de administração de produção utilizam as previsões para tomar decisões periódicas, envolvendo seleção de processos, planejamento de capacidade, melhorias de leiaute, e para decisões contínuas sobre planejamento da produção, da programação e do estoque. O setor de marketing confia na previsão de vendas para planejar novos produtos, premiar os vendedores e tomar outras decisões importantes. Nas áreas funcionais de finanças e de contabilidade, a previsão de demanda fornece a base para o planejamento orçamentário e o controle dos custos. Nos níveis mais altos, ela é a base para realizar o planejamento

estratégico de longo prazo. Exemplos da utilização de previsão de demanda podem ser encontrados em Montgomery *et al.* (1990) e Elsayed e Boucher (1994).

Muito embora as previsões de demanda possam fornecer projeções do futuro aos gerentes, permitindo que eles possam planejar suas atividades com maior eficácia e eficiência, é preciso reconhecer que as previsões não são perfeitas. Antes de procurar por previsões de demanda perfeitas é importante para os gerentes estabelecer uma prática de revisão freqüente destas previsões e aprender a conviver com suas imprecisões. Isso não quer dizer que não se precisa melhorar o modelo de previsão ou a metodologia, mas sim que se deve procurar e utilizar a melhor técnica de previsão disponível, segundo Davis *et al.* (2001).

Makridakis *et al.* (1998), Davis *et al.* (2001), Fitzsimmons e Fitzsimmons (1998), e Elsayed e Boucher (1994), classificam as técnicas utilizadas em previsão em:

- a) Técnicas Qualitativas; e,
- b) Técnicas Quantitativas (Análise de séries temporais e Modelos causais).

As técnicas qualitativas são subjetivas ou optativas por natureza e são baseadas em estimativas e em opiniões. Tais técnicas são utilizadas, principalmente, quando não existem dados históricos disponíveis. Dentro desta técnica, a metodologia mais conhecida é a *Delphi*. Este método utiliza a opinião de peritos, o que pode incluir a prática e a visão pessoal para a previsão. Maiores detalhes sobre o método podem ser encontrados em Davis *et al.* (2001) e Fitzsimmons e Fitzsimmons (1998).

As técnicas quantitativas são divididas em dois grupos: as séries temporais e os modelos causais. As análises de séries temporais são baseadas na idéia de que a história dos acontecimentos ao longo do tempo pode ser usada para prever o futuro, já os modelos causais tentam compreender o sistema que envolve o item a ser previsto. Por exemplo, as vendas podem ser afetadas pela propaganda, pela qualidade e pela concorrência. A Tabela 2.1 mostra uma comparação das técnicas de previsão mais comuns e suas características.

A média móvel e a suavização exponencial tendem a ser técnicas melhores e mais fáceis para se utilizar em previsões de curto prazo, necessitando de poucos dados e fornecendo resultados de qualidade mediana. Os modelos de longo prazo são mais complexos, necessitando de muito mais dados de entrada, mas fornecendo um grau mais alto de precisão.

As previsões de médio prazo são úteis para efeitos sazonais; e os modelos de longo prazo detectam, normalmente, tendências.

Tabela 2.1: Características das técnicas de previsão de demanda mais comuns

		Técnicas	Dados Necessários	Complexidade dos modelos	Custos relativos	Horizonte de previsão
Técnicas Qualitativas		Método Delphi	Avaliação de resultados	Alta	Alto	Longo Prazo
		Pesquisa de Mercado	Correlação de eventos	Média	Alto	Longo Prazo
		Analogia Histórica	Análise histórica de dados para uma situação similar	Média	Alto	Médio a Longo Prazo
Técnicas Quantitativas	Séries Temporais	Média Móvel	As N observações mais recentes	Muito Baixa	Muito Baixo	Curto Prazo
		Suavização Exponencial	Valores ajustados previamente e observações mais recentes	Baixa	Muito Baixo	Curto Prazo
		Regressão Linear	Todos os dados do passado para todas as variáveis no tempo	Média Alta	Moderado	Médio Prazo
	Modelos Causais	Análise de Regressão	Todos os dados do passado para todas as variáveis	Alta	Moderado	Médio Prazo
		Econométrico	Todos os dados do passado para todas as variáveis	Média Alta	Moderado	Médio e Longo Prazo

(fonte: Fitzsimmons&Fitzsmmons,1998 e Davis, Aquilano e Chase, 2001)

De acordo com Davis *et al.* (2001), o modelo de previsão que uma empresa deve adotar depende de uma série de fatores, incluindo:

- a) horizonte de previsão;
- b) disponibilidade de dados;
- c) precisão necessária;
- d) tamanho do orçamento para previsão; e

- e) disponibilidade de pessoal qualificado.

2.1.1 Metodologia das Técnicas Quantitativas de Previsão

De acordo com Makridakis *et al.* (1998) previsão quantitativa pode ser aplicada quando existem três condições:

- a) as informações do passado podem ser avaliadas e validadas;
- b) estas informações podem ser quantificadas em forma de dados numéricos; e,
- c) os dados poderão continuar assumindo alguns aspectos dos padrões passados no futuro, ou seja, o passado se repete.

Esta última condição é conhecida como suposição da continuidade e é uma premissa fundamental para os métodos quantitativos de previsão. As técnicas de previsão quantitativas variam consideravelmente, tendo sido desenvolvidas por diversas disciplinas para propósitos diferentes. Cada técnica possui propriedades, precisão, e custos que devem ser considerados na escolha do método específico.

Existem cinco etapas básicas, em qualquer tarefa de previsão, pela quais os dados quantitativos são avaliados, de acordo com Makridakis *et al.* (1998): definição do problema; coleta de informação; análises preliminares; escolha e ajuste dos modelos; e, utilização e avaliação dos modelos de previsão.

A etapa da definição do problema é, em alguns casos, o aspecto mais difícil da tarefa de previsão. Ela envolve desenvolvimento profundo de entendimento de como a previsão poderá ser usada, o que será previsto, e como a função previsão se adapta dentro da organização. Na determinação do que será projetado, tem-se que definir as variáveis que serão analisadas e prognosticadas. O nível de detalhe requerido é uma consideração importante. Muitos fatores influenciam no nível de detalhe usado: eficácia dos dados, a precisão que se pode conseguir, custo da análise e preferências gerenciais (Montgomery *et al.* ,1990).

Outra decisão importante com respeito à definição do problema, é em relação a três elementos temporais: o período, o horizonte e o intervalo da previsão. O período é a unidade básica de tempo pela qual a previsão é feita. Por exemplo, é desejável uma previsão de demanda por semana, neste caso o período é a semana. O horizonte é o número de períodos

no futuro cobertos pela previsão. Então, pode-se requerer um prognóstico para as próximas 12 semanas. Finalmente, o intervalo é a frequência com que a nova previsão é preparada. Muitas vezes o intervalo é da mesma unidade do período, então as previsões são revisadas em cada período usando a demanda mais recente e outras informações básicas correntes como um suporte para a correção dos dados.

Na segunda etapa, que é a coleta de dados, existem pelo menos dois tipos de informação que serão avaliados: (a) dados estatísticos e (b) o acúmulo de julgamentos e perícia de especialistas. Após a conclusão da coleta de dados históricos dos itens de interesse, é construído um modelo matemático que possa ser usado pelo responsável pela previsão. É muito importante que as previsões de demanda sugeridas pelo sistema de previsão sejam avaliadas pelos especialistas.

Saber o que os dados históricos informam é um dos objetivos da terceira etapa. Na análise preliminar são construídos gráficos para uma inspeção visual e, então, é calculada uma estatística descritiva simples (por exemplo, média, desvio padrão, mínimo, máximo, percentuais) associada com cada conjunto de dados. Pode-se então analisar se existe algum padrão, tendência ou sazonalidade nas séries em estudo.

A quarta etapa é a da escolha e ajuste final do modelo, necessária para adequar o modelo estatístico que melhor se ajusta à série temporal analisada.

Uma vez que o modelo tenha sido selecionado criteriosamente e seus parâmetros estimados apropriadamente, pode ser usado para fazer previsões da demanda. Os usuários deste método poderão avaliar o desempenho do modelo somente depois de passado o período para qual é feita a previsão. Todavia, em cada período, novos dados serão acrescentados ao conjunto de informações, melhorando a modelagem estatística. Assim, o sistema de previsão estimará dados futuros cada vez mais próximos da realidade.

Enfim, a proposta de quem faz a previsão é reduzir o risco das tomadas de decisões que devem ser tomadas em empresas, já que o sistema de previsão é uma ferramenta para prever eventos. Entretanto, prognósticos, usualmente, contêm erros, mas a magnitude dos erros depende do sistema de previsão utilizado.

Para otimizar os recursos da previsão, pode-se aumentar a precisão da técnica e, conseqüentemente, eliminar alguns dos resultados perdidos devido a incertezas nas tomadas

de decisões do processo. Quando a acurácia do método é aumentada, as perdas associadas com riscos decrescem e, conseqüentemente, o custo da previsão aumenta. Esta situação se equilibra e se torna mínima quando o custo da previsão e o custo da perda, causado pela incerteza, se igualam.

2.1.2 Análises de Séries Temporais

Como mostra a figura 2.1 em muitos casos, de acordo com Fitzsimmons e Fitzsimmons (1998), a demanda por produtos ou por serviços pode ser dividida em cinco componentes:

- a) demanda média por período;
- b) tendência;
- c) influência sazonal;
- d) elementos cíclicos;
- e) variação aleatória.

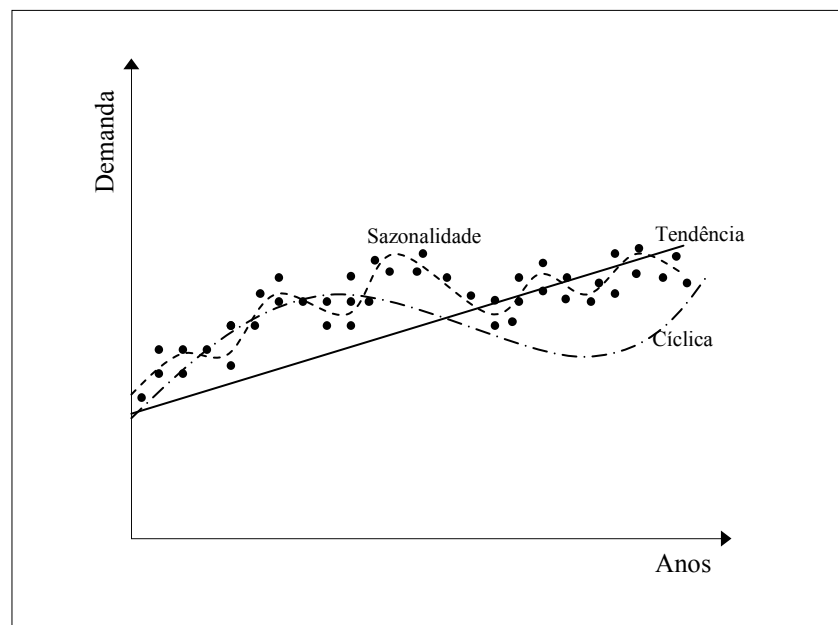


Figura 2.1: Exemplo de componentes da demanda (fonte: Fitzsimmons & Fitzsimmons,1998)

Os fatores cíclicos são mais difíceis de se determinar, já que tanto o período considerado, quanto a causa do ciclo, podem não ser conhecidos. As variações aleatórias são causadas por eventos causais. Estatisticamente, quando todas as causas conhecidas para a demanda (média, tendência, sazonalidade e cíclica) são subtraídas da demanda total, o que sobra é uma parte remanescente inexplicável da demanda. Se não for possível identificar a causa da mesma, esta é presumida como puramente aleatória.

As linhas de tendência são, normalmente, o ponto de partida no desenvolvimento de uma previsão. Essas linhas são, então, ajustadas para os efeitos sazonais, cíclicos e qualquer outro evento esperado que possa influenciar a previsão final.

Como foi dito anteriormente, os modelos de séries temporais são utilizados para fazer previsões de curto prazo quando os valores das observações ocorrem seguindo um padrão de comportamento identificável ao longo do tempo. Estes modelos variam desde simples modelos de média móvel, com N períodos, até modelos mais sofisticados, como suavização exponencial e Box-Jenkins. Maiores detalhes podem ser encontrados em Makridakis *et al.* (1998) e Gujarati (2000).

2.1.2.1 Modelos de Suavização Exponencial de Winters

Os modelos de previsão até aqui vistos pressupõem a inexistência de componente sazonal. Entretanto, se existe a sazonalidade na série temporal, então, se utiliza o modelo de suavização de Winters.

De acordo com Makridakis *et al.* (1998), o método de Winters é baseado em três equações de suavização – uma para o nível, uma para a tendência, e uma para a sazonalidade. Ele é similar ao método de Holt, com uma equação adicional para identificar a sazonalidade. Na realidade, existem dois tipos de modelos de suavização exponencial de Winters, são eles: sazonal multiplicativo e sazonal aditivo.

a) Modelo Sazonal Multiplicativo

As equações (1), (2), (3) e (4) são as equações básicas do método de sazonalidade multiplicativa:

$$\text{Nível:} \quad L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1)$$

$$\text{Tendência:} \quad b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2)$$

$$\text{Sazonalidade:} \quad S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (3)$$

$$\text{Previsão:} \quad F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (4)$$

onde s é o comprimento da sazonalidade (isto é, número de meses ou trimestres no ano), L_t representa o nível da série, b_t indica a tendência, S_t é a componente sazonal, e F_{t+m} é a previsão para m períodos futuros.

b) Modelo Sazonal Aditivo

A componente sazonal do método de Winters pode também ser tratada como aditiva. As equações básicas são (5), de nível, (6), de tendência, (7), de sazonalidade e (8), de previsão:

$$\text{Nível:} \quad L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (5)$$

$$\text{Tendência:} \quad b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (6)$$

$$\text{Sazonalidade:} \quad S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (7)$$

$$\text{Previsão:} \quad F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (8)$$

A equação (2) é idêntica à equação (6). A única diferença, nas outras equações, é que o índice de sazonalidade agora é adicionado e subtraído ao invés de assumir produtos e proporções. O valor inicial para L_s e b_s é idêntico àquele para o método multiplicativo.

2.1.3 Análises dos Erros de Previsão

Os modelos que se apresentou no item 2.1.2.1 são métodos de suavização exponencial. Muitos outros métodos de previsão têm sido estudados e Makridakis *et al.* (1998), Gujarati (2000) apresentam esses métodos com maiores detalhes. Alguns desses métodos envolvem extensiva computação e são complicados matematicamente, sendo, por isso, não muito utilizados como métodos na prática.

A questão pragmática remanescente é: como escolher o melhor método para um conjunto de dados? Ou, então, como analisar a qualidade da previsão? Uma das maneiras é através da verificação da existência das componentes da demanda. Avalia-se se existe tendência, sazonalidade e, assim, escolhe-se um método que possa calcular esses componentes.

Depois de escolhido o modelo de previsão, precisa-se saber se a previsão está razoável. Uma das maneiras mais comum é calculando o erro de previsão. De acordo com Fitzsimmons e Fitzsimmons (2000), o resultado da soma dos erros de previsão deve tender a zero, levando em conta as diferenças positivas e negativas. Existem vários métodos para analisar erros de previsão, são eles:

a) Média Absoluta dos Erros (9):

$$(\text{MAE}) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t|, \quad (9)$$

b) Média Absoluta percentual dos erros (10):

$$(\text{MAPE}) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{z_t} \times 100 \right|, \quad (10)$$

c) Média do quadrado dos erros (11):

$$(\text{MSE}) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (11)$$

onde:

e_t (erro de previsão gerado em cada modelo) = a diferença entre a observação real e o valor suavizado;

t = nº do período avaliado;

n = tamanho da amostra

Z_t = um valor da série histórica (observação real)

De acordo com Pellegrini (2000), dentre as formas apresentadas de medir a acurácia da previsão, a mais popular é a MAPE (equação 10). Entretanto, quando a série temporal contém valores iguais a zero, torna-se impossível o uso de sua fórmula.

2.2 MÉTODO ABC

De acordo com Ballou (1993) e Davis (2001), o princípio do método ABC ou 80-20 foi observado por Vilfredo Pareto, em 1897 num estudo de renda e riqueza. Notou-se que uma grande porcentagem da renda real total encontrava-se nas mãos de uma pequena parcela da população, numa proporção de aproximadamente 80% e 20%, respectivamente. Esse princípio geral, conhecido como Diagrama de Pareto, encontrou larga aplicação na administração de empresas.

O Diagrama de Pareto é um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de modo a tornar evidente e visual a estratificação e a priorização de um fenômeno, além de permitir o estabelecimento de metas específicas. Uma das aplicações desse diagrama é em um sistema de estoques. Maiores detalhes são encontrados em Davis (2001).

A abordagem ABC divide, por exemplo, listas de atividades, em três grupos de atividades executadas: tarefas do grupo A integram, grosseiramente, as 80% mais executadas, as tarefas do grupo B os próximos 15% e, as do grupo C os últimos 5%. A separação pode não ocorrer tão nitidamente. O objetivo, contudo, é tentar separar o mais importante do menos importante.

CAPÍTULO 3 – Simulação

Este capítulo aborda a revisão bibliográfica relacionada com um dos elementos do método geral proposto: simulação computacional. Técnicas de simulação são usadas para planejamento de capacidade. Groothuis (2001) demonstrou que técnicas de simulação podem ser utilizadas para dimensionar quantas pessoas capacitadas necessitam trabalhar nos quartos da emergência (24 horas) de um hospital para atender pacientes com problemas cardíacos. Foi utilizado o pacote computacional *MedModel* para executar as simulações.

De acordo com Martins e Fonseca (2000), a simulação mostra-se muito apropriada em situações em que, devido ao tamanho e à complexidade dos problemas, fica inviabilizado o uso das técnicas de otimização, como por exemplo, em situações onde há formação de filas. Na maior parte das situações em que há o recebimento seqüencial de pedidos ou atendimento, situações em que normalmente há formação de filas, a chegada dos clientes ocorre de forma totalmente aleatória. Este caráter aleatório significa que a ocorrência de um evento não é influenciada pela ocorrência do último evento.

No que se refere ao dimensionamento de equipes, esta característica da simulação é de grande importância, já que ele incorpora grande número de fatores de produção com custos elevados, cujas variações do número de equipes influenciam na produtividade e na lucratividade da empresa. Na simulação de uma operação ao longo do tempo, são gerados cenários distintos que permitem avaliar e escolher as alternativas viáveis. Maiores detalhes podem ser encontrados em Martins e Fonseca (2000).

Hambledon (*apud* Powell, 1999) utiliza a simulação para determinar o número de técnicos requeridos, para cada região, para atender o serviço de chamados emergenciais para manutenção de máquinas. Esse trabalho foi desenvolvido com programação dinâmica.

Mason (1998) utilizou simulação para analisar a quantidade mínima de funcionários para fazer a análise da documentação de clientes que embarcam no Aeroporto Internacional de Auckland.

3.1 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De acordo com Banks *et al.* (1995), para modelar um sistema é necessário entender a concepção do sistema e o seu limite. Segundo Law e Kelton (1991), um sistema é um conjunto de entidades, isto é, pessoas ou máquinas, que atuam e interagem juntas a fim de atingir um objetivo. O sistema pode ser estudado, basicamente, de duas formas: experimentação com o sistema real e a experimentação com modelos do sistema. A Figura 3.1 organiza os diferentes caminhos para analisar um sistema.

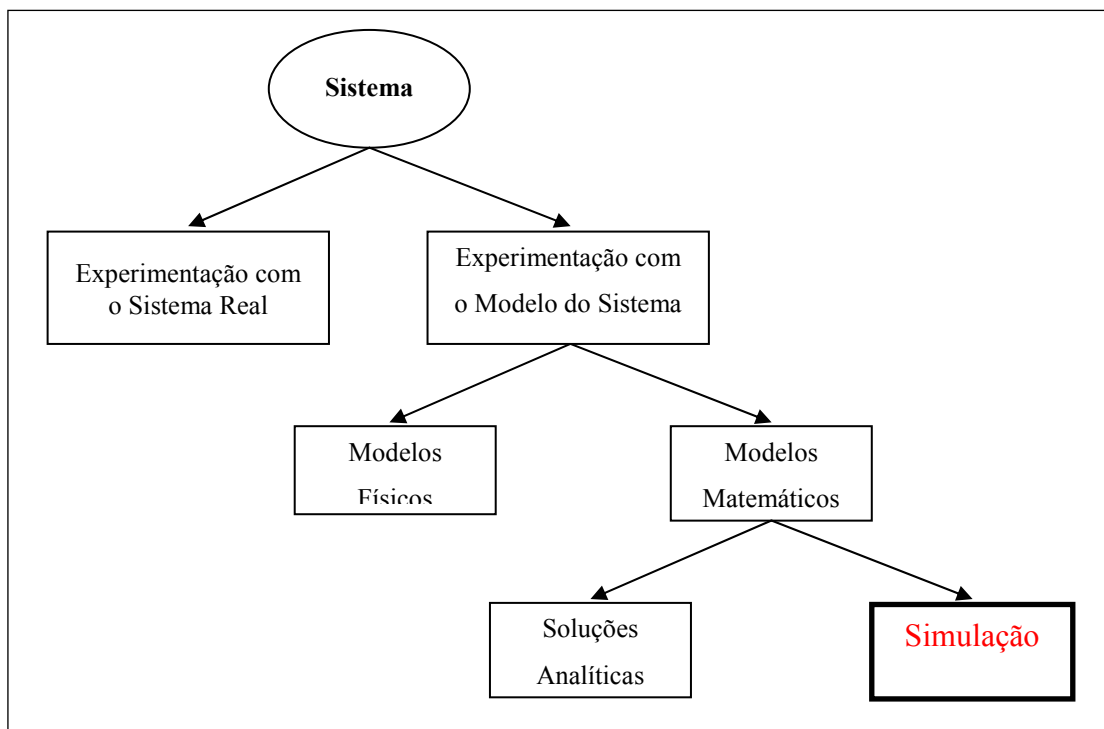


Figura 3.1: Caminhos para estudar um sistema (Fonte: Law e Kelton,1991)

Na experimentação com o sistema real, os efeitos da mudança são analisados no próprio sistema, após a sua implementação. Esta alternativa geralmente apresenta riscos e custos elevados, podendo, ainda, estar sujeita a restrições físicas e temporais. Já a

experimentação com modelos do sistema resultam em custo menor, maior segurança e rapidez quando comparada com a primeira opção (Law e Kelton, 1991).

A modelagem de um sistema pode ser de dois tipos: modelos físicos ou modelos matemáticos. Os modelos físicos são normalmente atípicos para serem usados na pesquisa operacional e sistemas de análises. Já os modelos matemáticos são muito úteis, e eles podem ser subdivididos em soluções analíticas e simulação.

As soluções analíticas buscam um resultado bom ou ótimo para o sistema modelado, apresentam restrições quanto ao uso, diretamente relacionadas à complexidade do sistema estudado. A técnica de simulação trata de modelos estocásticos, permitindo modelar sistemas com grande número de restrições, eventos e relações.

As técnicas de simulação são definidas como um processo do esboço de um modelo matemático do sistema real. Elas administram experiências com o objetivo de compreender, além do comportamento do sistema, a evolução de várias estratégias consideradas importantes para a operação. De acordo com Shannon (1975), existem algumas características para a natureza e domínio de um bom modelo de simulação, são elas:

- a) preocupação com a operação do sistema (modelo simples para ser entendido pelo usuário; objetivo e propósito direto; facilidade para controlar e manipular o modelo; capacidade de se adaptar a modificações ou atualizações; evolucionário, começando simples e depois obtendo mais complexidade no modelo, em conjunto com o usuário);
- b) interesse com a solução dos problemas do mundo real (o modelo não pode gerar resultados absurdos); e
- c) atuar como um serviço para beneficiar aqueles que estão no controle do sistema ou pelo menos aqueles interessados na sua execução.

3.1.1 Conceito de Simulação Computacional

Simulação é a técnica de estudar o comportamento e reações de um determinado sistema, através de modelos que imitam, na totalidade ou em parte, as propriedades e comportamentos deste sistema em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado (Lobão e Porto, 1999).

Segundo Pidd (1998), a simulação computacional consiste no uso de um modelo como base para exploração e experimentação da realidade. A base conceitual da simulação computacional, segundo o autor, é a entrada de dados (políticas) no modelo de simulação, onde são feitas as interações e experimentações, gerando então as saídas, que são as respostas.

De acordo com Banks *et al.* (1995) a eficácia de uma proposta especial com linguagens de simulação, habilidade para computação maciça com decréscimo de custo na operação, e o avanço nas metodologias de simulação tem feito dela a mais ampla e aceitável ferramenta na Pesquisa Operacional e Análise de Sistemas. Banks *et al.* (1995), Prado (1999) e Shannon (1975), escrevem que a simulação computacional pode ser usada para as seguintes propostas:

- a) Mudanças nas informações, nas organizações e no ambiente podem ser simuladas e os efeitos destas alterações podem ser observados no procedimento do modelo.
- b) O conhecimento adquirido projetando um modelo de simulação talvez seja de grande valor para sugerir melhora no sistema sujeito a investigação.
- c) Pela troca dos dados de entrada da simulação e observando os resultados de saída, valiosa percepção interna pode ser obtida de quais variáveis são mais importantes e como as variáveis interagem uma com as outras.
- d) Simulação pode ser usada como um artifício educacional para reforçar metodologias de soluções analíticas.
- e) Simulação pode ser usada para verificar soluções analíticas.
- f) Inviabilidade da interferência com o sistema real. Trata-se daquela situação em que tentar alterar o sistema existente, sem ter uma certeza de que a alteração vai dar certo, pode significar um alto risco de prejuízo. Pode-se citar o caso de alterar a arquitetura de uma fábrica ou o fluxo do trânsito de uma cidade.
- g) O sistema em estudo não existe, como, por exemplo, quando se avalia a construção de uma nova fábrica ou ampliação.

3.1.2 Vantagens e Desvantagens do uso da Simulação

De acordo com Banks *et al.* (1995) simulação é intuitivamente interessante para o cliente porque ela imita o que acontece no sistema real ou o que pode ser percebido em um sistema que está em estágio de projeto. Os dados de saída da simulação deveriam corresponder diretamente aos resultados que o sistema real provavelmente registraria na mesma situação. E, mais, é possível desenvolver um modelo de simulação de um sistema sem a duvidosa compreensão (tal que a mesma distribuição estatística para qualquer variável randômica) dos modelos resolvíveis da matemática. Por essas, e outras razões, simulação é uma técnica freqüentemente escolhida para resolução de problemas.

Em contraste com modelos de otimização, modelos de simulação são “executáveis” preferencialmente resolvidos. Dados um conjunto particular de dados de entrada e características do modelo, o modelo é executado e seu comportamento simulado é observado. Este processo de trocar os dados de entrada e as características do modelo resultam em um conjunto de cenários que são avaliados. Uma boa solução, tanto para análise de um sistema existente como para projetar um novo sistema é então recomendada para implementação.

Todavia, Lobão e Porto (1999) relatam que a simulação permite, ainda, durante o desenvolvimento do projeto de uma nova planta, evitar gargalos, definir o melhor arranjo físico e, até, determinar o melhor índice de produtividade dos funcionários. A simulação pode ser útil em qualquer uma das fases do ciclo de vida de um sistema de manufatura: desde a fase de análise do problema e definição de requisitos, até as fases de projeto, justificação, implementação e operação.

A simulação possui muitas vantagens, e algumas desvantagens. Essas são listadas por Pedgen, Shannon, and Sadowski (1995), (*apud* Banks *et al.* 1995). As vantagens são:

- a) Novo projeto de hardware, *layouts* físicos, sistemas de transportes, e outros podem ser testados sem compromisso de recursos para sua aquisição.
- b) Tempo pode ser comprimido ou expandido, permitindo o aumento ou diminuição da velocidade do fenômeno investigado.
- c) Pode-se identificar, dentro do processo, a existência ou inexistência de gargalos, que podem ser informações, materiais, ou outras atividades que atrasam a produção.

- d) “*O que aconteceria se*”; questões como essa podem ser respondidas. Isto é particularmente útil nos projetos de novos sistemas.

As desvantagens são:

- a) A construção de modelos requer um treinamento especial. Ela é uma arte que é estudada todo o tempo e através de experiência. Além disto, se dois modelos são construídos por dois indivíduos competentes, eles poderão ter semelhança, mas eles provavelmente serão diferentes.
- b) A interpretação dos resultados de simulação pode ser difícil. Desde que os principais resultados de simulação são essencialmente variáveis randômicas, (eles são usualmente baseados em dados de entrada randômica), talvez seja difícil determinar se uma observação é um resultado da inter-relação do sistema.
- c) Modelos de simulação e análise podem consumir muito tempo e dinheiro. Restringir os recursos para modelagem e análise resulta, provavelmente, em um modelo de simulação e análise insuficiente para a tarefa.

Lobão e Porto (1999) descrevem que, através de estudos de simulação, pode-se realizar inferências sobre atividades nos sistemas de manufaturas, tais como: identificação de problemas, utilização da capacidade instalada, níveis de inventário, lógica de controle, comparação com o desempenho de outros sistemas, refinamento de projeto, integração, alternativas de seqüenciamento, inicialização de equipamentos, número de empregados, etc.

Saliby (1989) diz que a flexibilidade é a principal vantagem que a simulação tem a oferecer, pois se aplica aos mais variados problemas. Como exemplo, pode-se citar:

- a) Simulação de sistemas de atendimento (filas), tais como a operação de um terminal portuário, de uma central telefônica ou de um serviço de atendimento ao público, um simples hospital, um *check in* num aeroporto, uma lanchonete, um banco, um supermercado etc.
- b) Simulação de um sistema de estoques e compras, para determinar sua melhor política de operação.

c) Simulação financeira, estudando o fluxo de caixa e demais resultados econômico-financeiros de uma empresa ou projeto de investimento. Uma destas aplicações é a análise de risco.

d) Simulação de sistemas de transporte público, como, por exemplo, a operação de uma frota de ônibus urbanos ou dos trens de um metrô.

e) Simulação de operações militares, como, por exemplo, estudos logísticos e estratégicos.

3.1.3 Classificação da Simulação

Toda simulação requer a construção de um modelo com o qual serão feitos os experimentos. De acordo com Saliby (1989), Law e Kelton (1991), dependendo do tipo de modelo, pode-se classificar uma simulação em:

- a) Determinístico ou probabilístico;
- b) Estática ou dinâmica;
- c) Discreta ou contínua.

Além destes 3 tipos de simulação, Prado (1999), Shannon (1975) fazem mais uma classificação de tipos de modelo: Icônicos ou Analógicos e Simbólicos. Mais detalhes podem ser encontrados em Shannon (1975).

3.1.3.1 Determinística ou Probabilística

Uma simulação é determinística quando todas as variáveis presentes são também determinísticas. Em geral, um problema descrito por um modelo determinístico pode – e também deve – ser estudado analiticamente. Isto só não ocorre quando o modelo se torna mais complexo, envolvendo um grande número de variáveis ou de relações; nestes casos, recorre-se à simulação como recurso alternativo de solução. Um processo de manufatura feito por máquinas, o planejamento financeiro e a simulação de sistemas macroeconômicos estão entre as principais aplicações de simulação determinística.

Diferente da simulação determinística, uma situação probabilística baseia-se geralmente numa descrição mais próxima – e também mais complexa – da realidade. Neste

caso, o modelo contém uma ou mais variáveis aleatórias cujo papel, numa simulação, será representado através de amostras.

A simulação probabilística tem por objetivo reproduzir, da maneira mais precisa possível, o comportamento probabilístico destas variáveis. Para isso, adotou-se como regra a idéia de que uma simulação deveria ser uma imitação total da realidade.

3.1.3.2 Estática ou Dinâmica

Existem simulações em que a dimensão tempo não é relevante, por exemplo, as aplicações do método de Monte Carlo no cálculo de integrais ou os experimentos amostrais utilizados em estudos estatísticos. Estes casos caracterizam o que denominamos uma simulação estática.

Ao contrário, a maioria das aplicações da simulação refere-se ao estudo de um sistema ao longo do tempo, caracterizando assim uma simulação dinâmica. A propósito, um importante aspecto numa simulação refere-se ao acompanhamento, ao longo do tempo, das várias atividades que compõem o modelo.

3.1.3.3 Discreta ou Contínua

A classificação de simulação discreta ou contínua depende do processo de atualização das variáveis que descrevem o estado do sistema.

Na simulação discreta, a passagem do tempo é feita a intervalos, entre um evento e outro. Neste caso, supõe-se que o estado do sistema não se altera ao longo do intervalo compreendido entre dois eventos. Vale citar ainda que a maioria das simulações probabilísticas são também discretas.

Na simulação contínua, a passagem do tempo é vista como se fosse realmente contínua, muito embora ela seja feita a pequenos intervalos de tempo, por imposição do método empregado e do próprio computador. Os modelos contínuos são muitas vezes de natureza determinística.

3.1.4 Etapas de um estudo de simulação

A figura 3.2 mostra um conjunto de etapas, de um estudo de simulação, para orientar a construção de um modelo completo e seguro. Figuras similares e discussão das etapas podem

ser encontradas em Shannon, 1975; Gordon, 1978; Law e Kelton, 1991 *apud* Banks *et al.* (1995).

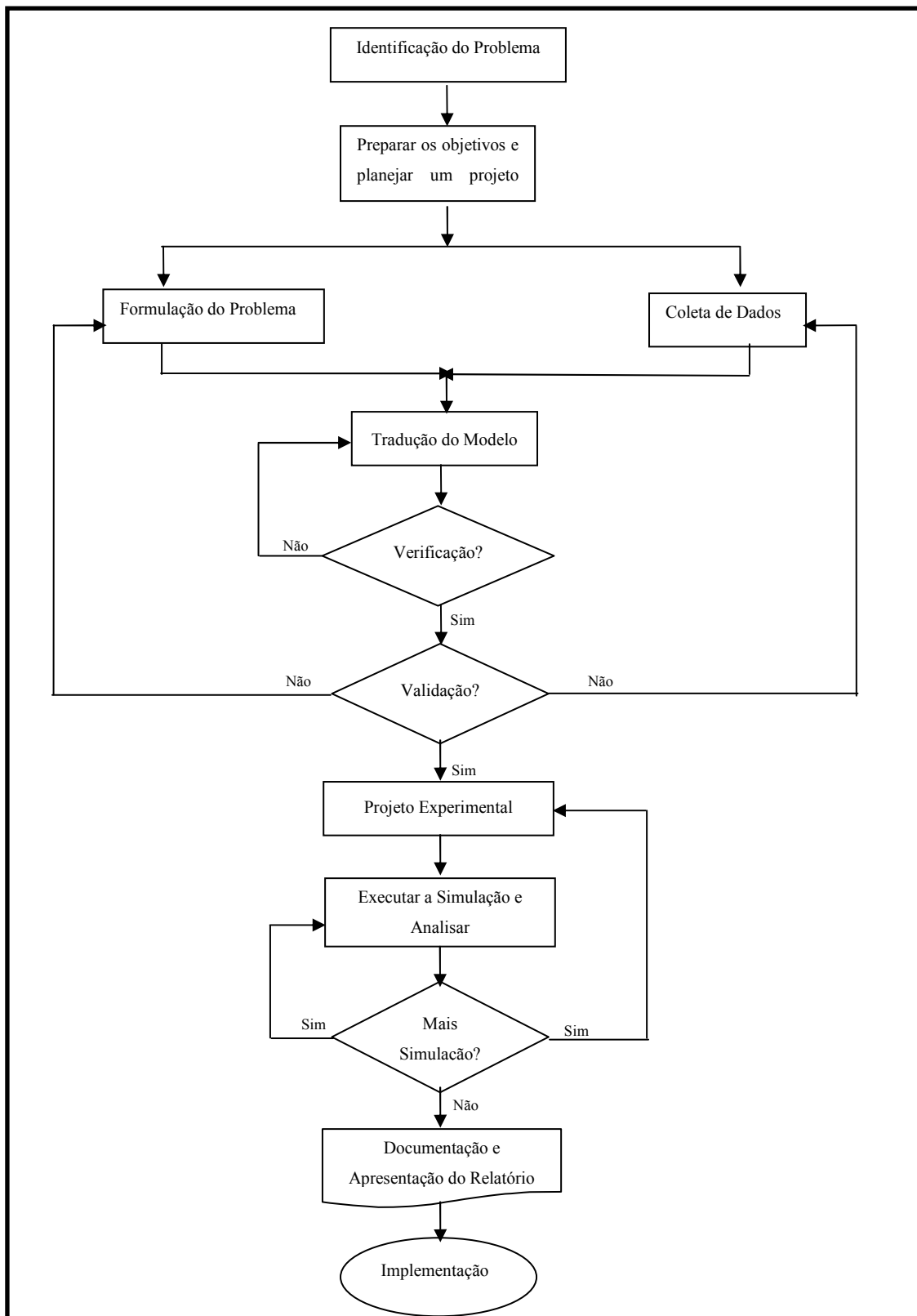


Figura 3.2: Etapas de um estudo de simulação (Fonte: Law e Kelton,1991)

A construção do modelo de simulação vai depender muito do processo a ser analisado. Depois de feito uma pesquisa exploratória do processo, tem-se que analisar a disponibilidade dos dados de entrada e dos tempos de operação dentro do processo. Cada atividade do processo deve ser caracterizada e incluída no modelo de simulação. Algumas atividades são mais importantes dentro do processo, essas devem ser evidenciadas no modelo. As etapas de um estudo de simulação são:

a) Formulação do Problema. O estudo deve começar com o relato do problema. Se a opinião é fornecida pelos especialistas ou aqueles que vivenciam o problema, o analista deve assegurar que o problema será descrito e claramente entendido. Se o problema relatado está sendo modelado por um analista, é importante que um especialista compreenda e concorde com a explicação.

b) Preparar os objetivos e planejar um projeto completo. Os objetivos indicarão as questões a serem respondidas pela simulação. Nesta etapa deve haver uma determinação de que a simulação é a metodologia mais apropriada para chegar aos objetivos determinados. Então, presumindo que será decidido pela simulação, o planejamento do projeto completo inclui a opinião de um sistema alternativo a ser considerado, e um método para avaliar a validade destas alternativas. Esta etapa pode incluir nos planos de estudo o número de pessoas envolvidas, o custo do estudo, e o número de dias requerido para acompanhar cada fase do trabalho, com a antecipação dos resultados no final de cada estágio.

c) Conceitualização do modelo. A construção do modelo do sistema é, provavelmente, feita com muita arte e ciência. A arte de modelar é aprimorada pela habilidade de resumir as essenciais características do problema, para selecionar e modificar hipóteses básicas que caracterizam o sistema, e, então, para aprimorar e elaborar o modelo até que as aproximações dos resultados sejam proveitosas. Assim, é melhor começar com um modelo simples e construir em direção a grande complexidade. Entretanto, um modelo complexo talvez ultrapasse o solicitado para executar os objetivos pelos quais o modelo é requerido. As violações destes princípios somente somarão a construção do modelo nos custos de computação.

d) Coleta de Dados. Existe uma influência constante entre a construção do modelo e a coleta de dados de entrada (Shannon, 1975). Como a complexidade do modelo muda, o elemento dado de entrada solicitado deve, também, mudar. Além disso, antes de obter os

dados coletados iguais a uma grande porção do tempo total requerido para a execução da simulação, é necessário que se comece tão cedo quanto possível, usualmente junto com o começo dos estágios da construção do modelo.

e) Tradução do Modelo. Desde que a maioria dos sistemas do mundo real resulta em modelos que exigem grande quantidade de armazenamento de informação e computação, o modelo deve ser anotado dentro de um formato computacional reconhecível. Usa-se o termo “programa” mesmo que seja possível executar o resultado desejado em muitas instancias com pouco ou nenhum código. Para programar o modelo, o modelador deve se decidir por uma linguagem de simulação, como GPSS/H, SIMAN V, SIMSCRIPT II.5, ou SLAMSYSTEM ou, para um propósito especial, por um software de simulação, como AutoMod, FACTOR/AIM, ProModel, ARENA, entre outros. Linguagens de simulação são mais poderosos e flexíveis do que pacotes especiais de software. De qualquer forma, se o problema é facilmente solucionado com o pacote de software, o tempo de desenvolvimento do modelo é bem reduzido. Além disso, a maioria dos pacotes de simulação tem características adicionais que aumenta a sua flexibilidade.

f) Verificação do Modelo. A verificação do programa criado no computador ou processo no pacote computacional é importante, pois o analista verifica se o programa do computador executa corretamente as tarefas definidas. Com modelos complexos, é mais difícil, se não impossível, traduzir um modelo de forma bem sucedida, por inteiro, sem uma boa quantidade de depurações nos defeitos de programação. Se os parâmetros de entrada e a lógica da estrutura do modelo estão corretamente apresentados no computador, então, a verificação está completa. Para a maioria das partes, o senso comum é usado para completar esta etapa.

g) Validação do Modelo. Validação é a determinação de que o modelo é uma representação exata do sistema real. A validação é usualmente alcançada através da calibração do modelo, um processo repetitivo de comparações do modelo e o comportamento do atual sistema usando discrepâncias entre os dois, e a percepção adquirida, para melhorar o modelo. Este processo é repetido até a exatidão do modelo ser considerada aceitável.

h) Projeto Experimental. As alternativas que serão simuladas devem ser pré-determinadas. Muitas vezes, a decisão de quais alternativas serão simuladas, já deve estar estabelecida nos objetivos da simulação. Para cada sistema projetado que é simulado, decisões

precisam ser tomadas, relacionadas ao longo período de inicialização, e no tempo da execução da simulação, e o número de replicações a serem feitas em cada execução.

i) Executar a simulação e analisar. A eficácia da execução e suas análises subsequentes são usadas para estimar meios de execução do projeto do sistema que estarão sendo simulados.

j) Mais simulação. Baseado nas análises das execuções de simulação completadas, o analista determinará se executará novamente a simulação ou não.

k) Documentação e Apresentação do Relatório. Existem dois tipos de documentação: o programa e o progresso. A documentação do programa é necessária por razões numéricas. Se o programa está sendo usado pelo mesmo ou outro analista, é necessário entender como se opera o programa. Isso tornará mais seguro o programa e, então, os usuários do modelo e especialistas poderão tomar decisões baseadas nas análises. Além disso, se o programa for modificado pelo mesmo ou por um outro analista, isto pode facilitar a adequação da documentação. Uma experiência com documentação de programação insatisfatória é usualmente suficiente para convencer um analista da importância da etapa. Outra razão para documentação do modelo é que o usuário possa trocar parâmetros e reduzir o esforço para determinar a relação entre os parâmetros de entrada e avaliação da saída dos resultados, ou para determinar os dados de entrada que otimizem alguns dados da saída.

O relatório do progresso fornece a história do projeto da simulação. O relatório do progresso mostra a cronologia do trabalho realizado e as decisões tomadas. Isto pode mostrar ser de grande valor na manutenção do percurso do projeto.

l) Implementação. O sucesso da fase de implantação depende de como as 11 etapas foram executadas.

3.1.5 Evolução das técnicas de simulação

De acordo com Saliby (1989) a simulação teve sua origem como extensão do Método de Monte Carlo, proposto por Von Neumann e Ulam para a solução de problemas matemáticos cujo tratamento analítico não se mostrava viável. Isto se deu durante a Segunda Guerra Mundial, ao longo das pesquisas no Laboratório de Los Alamos, que resultaram na construção da primeira bomba atômica.

As ferramentas de simulação desenvolvidas por engenheiros e projetistas para estudo dos mais diversos sistemas apresentam uma evolução diretamente ligada à tecnologia de suporte (hardware e software) disponível no momento de sua implementação, tendo evoluído desde os modelos físicos em escala e os modelos matemáticos até a última geração de simuladores inteligentes e interativos com interface gráfica. Apresenta-se na tabela 3.1 a evolução dos sistemas de simulação em paralelo com o desenvolvimento da tecnologia de suporte. Para maiores detalhes, ver Lobão e Porto (1999).

Tabela 3.1: Evolução dos sistemas de simulação

Classificação	Tecnologia disponível	Ferramentas de simulação
Tipo I	Conhecimentos científicos, matemáticos, estatísticos e ferramentas manuais.	Modelos matemáticos e modelos físicos em escala reduzida ou ampliada.
Tipo II	Computador de grande porte (<i>main frames</i>), primeiros microcomputadores.	Linguagens de simulação: gpps, slam, siman, simscript, etc. Simuladores de interface por diálogo.
Tipo III	Microcomputadores.	Simuladores de interface gráfica: Arena, Automodel, Promodel, etc.
Tipo IV	Estações de trabalho, microcomputadores de alto desempenho e grande capacidade de memória.	Simuladores de interface gráfica: interativos (utilizando realidade virtual) e inteligentes (utilizando sistemas especialistas e inteligência artificial)

(fonte: Lobão e Porto, 1999)

O aparecimento das linguagens específicas para desenvolvimento de modelos de simulação, aliados à diminuição dos custos de hardware e software, contribuiu para o aumento do número de usuários e de aplicações da técnica de simulação de sistemas. Este maior número de usuários tornou viável o desenvolvimento de programas simuladores específicos para determinados sistemas. Embora os simuladores não apresentem a mesma flexibilidade das linguagens de simulação de propósito geral, apresentam algumas vantagens em relação a elas:

- a) interação usuário/computador mais amigável;
- b) possibilidade de utilização de biblioteca de rotinas já previamente construídas, e
- c) os simuladores dispensam o usuário das necessidade de ter conhecimentos profundos de programação de computadores, pois situam-se num nível mais alto de programação.

Embora os primeiros simuladores ainda não apresentassem uma interface muito amigável com o usuário, com o desenvolvimento tecnológico e aumento do poder de processamento dos computadores pessoais (devido ao aumento da capacidade de memória, da velocidade de processamento, e facilidade de desenvolvimento de sistemas de interface gráfica sobre o Windows), vários sistemas simuladores comerciais foram colocados no mercado, por exemplo: ARENA, PROMODEL, AUTOMODEL, etc. De acordo com Lobão e Porto (1999) estes sistemas apresentam como características:

- a) interface gráfica de comunicação com usuário;
- b) desenvolvimento de modelos orientados a objeto;
- c) capacidade de animação do modelo;
- d) fornecimento de relatórios sobre a simulação executada;
- e) ferramentas estatísticas para tratamento dos dados utilizados na simulação, etc.

De acordo com Lobão e Porto (1999), embora os modelos de simulação possam ser construídos usando linguagens comuns de programação, as quais são familiares para os analistas (visual basic, linguagem C, C++ etc), é vantajoso sobre as mais variadas plataformas, e ainda mais barato. Muitos estudos com simulações são, atualmente, implementados utilizando pacotes de software de simulação. Uma das vantagens oferecidas é reduzir o esforço da programação, que às vezes não é do conhecimento de quem executa a simulação.

De acordo com Maria (1997), os dois tipos de pacotes de simulação são linguagens de simulação e aplicações orientadas ao simulador (tabela 3.2). Linguagem de simulação oferece maior flexibilidade do que as aplicações orientadas ao simulador. Por outro lado, linguagem de programação favorece quem sabe usá-la. Aplicações orientadas ao simulador são facilmente ensinadas e possuem construção de modelos fechados relatados após aplicação.

Alguns pacotes de simulação incorporam animações, as quais são excelentes para a comunicação, entretanto, a animação não garante a validade do modelo.

Tabela 3.2: Pacotes de softwares de simulação

Tipos de pacotes de simulação	Exemplos
Linguagens de simulação	Arena, AweSim!, Extend, GPSS, Micro Saint, SIMSCRIPT, SLX <i>Software orientado a objeto</i> : MODSIM III, SIMPLE++ <i>Software com animação</i> : Proof Animation
Aplicação orientada ao simulador	<i>Manufaturas</i> : AutoModel, Extend+MFG, FACTOR/AIM, ManSim/X, MP\$IM, ProModel, QUEST, Taylor II, WITNESS <i>Comunicação/Computador</i> : COMNET III, NETWORK II.5, OPNET Modeler, OPNET Planer, SES/workbench <i>Negócio</i> : BP\$IM, Extend+BPR, ProcessModel, ServiceModel, SIMPROCESS, Time machine <i>Cuidados com a Saúde</i> : MedModel

(Fonte: Lobão e Porto, 1999)

3.2 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS (Taxa de chegada)

De acordo com Fitzmmons e Fitzmmons (2000), uma das partes importantes para qualquer análise de um sistema de serviços é o completo entendimento da distribuição temporal e espacial da demanda por aquele serviço. Para a análise da distribuição temporal desse serviço normalmente coleta-se dados de chegada do serviço solicitado. Então, esses dados são utilizados para calcular os tempos entre as chegadas. Estudos empíricos indicam que a distribuição dos tempos entre chegadas se comporta de maneira exponencial.

A distribuição exponencial tem uma função densidade de probabilidade contínua como mostra na equação (1):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad (1)$$

onde

λ = taxa média de chegadas dentro de um intervalo de tempo (por exemplo, minutos, hora ou dias)

t = tempo entre as chegadas

e = base de logaritmos naturais (2,718...)

$$\text{média} = \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{variância} = \frac{1}{\lambda^2}$$

Outra distribuição, conhecida como *distribuição de Poisson*, tem um relacionamento singular com a distribuição exponencial. Enquanto a distribuição exponencial revela, por exemplo, minutos entre as chegadas, a de Poisson dá a probabilidade de chegadas por hora. Maiores detalhes podem ser encontrados em Fitzmmons e Fitzmmons (2000) e Spiegel (1978).

CAPÍTULO 4 – Alocação de Recursos

Este capítulo aborda o contexto teórico relacionado com um dos elementos do método proposto: alocação de recursos. Essa técnica otimiza o número de equipes necessárias para atender a demanda de serviços num determinado período (dia, hora, mês, etc.).

4.1 TÉCNICAS DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS

Um dos grandes desafios enfrentados pela empresas prestadoras de serviços é equilibrar a prestação do serviço com as demandas diárias dos clientes, em um ambiente dinâmico. Portanto, o gerenciamento da capacidade e da demanda deve ser avaliado com cuidado.

De acordo com Fitzsimmons (1998), existem estratégias de operação que podem aumentar a capacidade de utilização por meio de um equilíbrio mais balanceado entre o fornecimento e a demanda pelos serviços. A figura 4.1 mostra técnicas para gerenciar a oferta e outras para gerenciar a demanda.

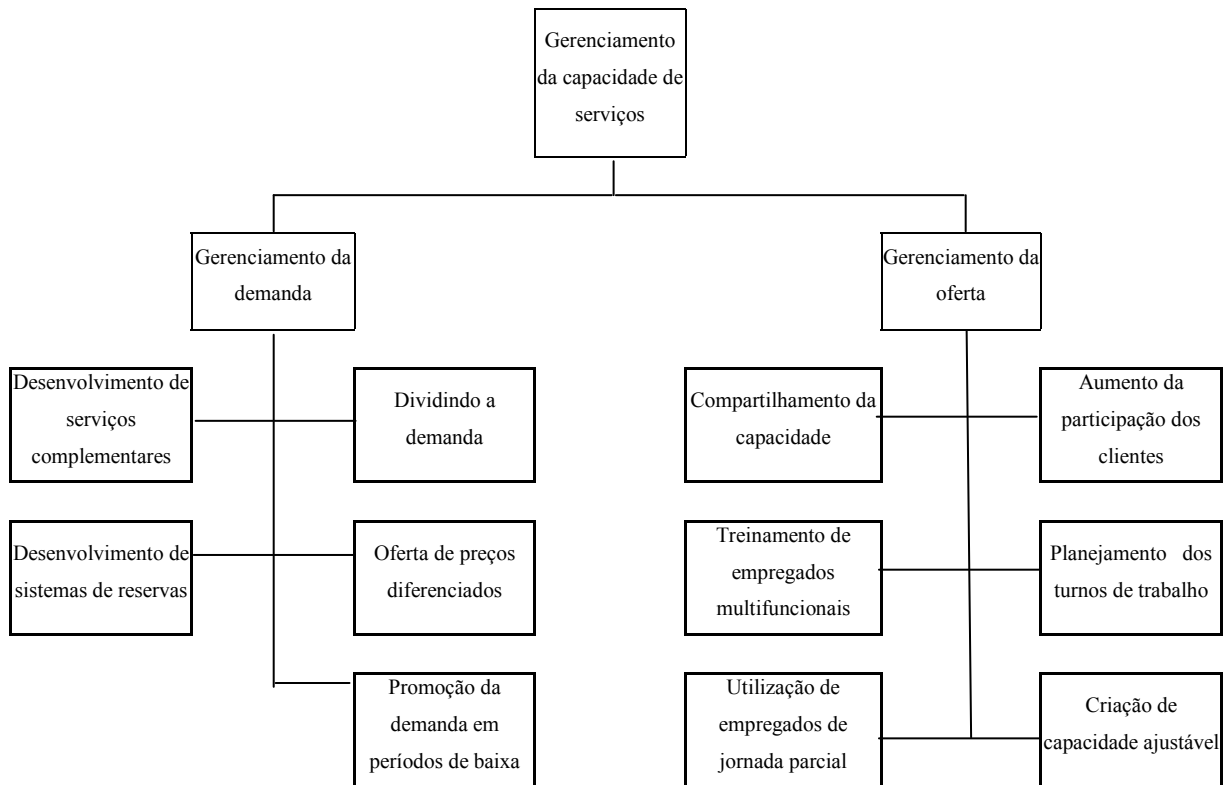


Figura 4.1: Estratégias para equilibrar o fornecimento e a demanda por serviços

(Fonte: Fitzsimmons & Fitzsimmons,1998)

Flutuações excessivas na demanda por serviços não precisam ser aceitas como inevitáveis. Os sistemas de serviços podem amenizar suas demandas pela utilização tanto de medidas ativas como passivas. Com a demanda amenizada, as variações cíclicas têm sido reduzidas. Embora a chegada de clientes deva continuar a ocorrer a intervalos aleatórios, a taxa média de chegada será mais estável ao longo do tempo. Mais detalhes sobre estratégias para gerenciar e amenizar a demanda podem ser encontradas em Fitzsimmons e Fitzsimmons (1998), Brusco e Johns (1995) e Billionnet (1999).

Para diversos serviços, a demanda não pode ser amenizada de maneira eficiente, a exemplo da demanda das telefonistas do *call center* de uma empresa de energia elétrica. Cada ligação acontece por motivos diversos. O aumento ou diminuição das ligações depende de vários fatores externos, tais como: períodos de chuvas, rede com mais tempo de uso,

economia da região, oscilação de tensão, horário do pico do uso de energia, etc. Maiores detalhes sobre capacidade de demanda em *call center* é encontrado em Whitt (1999).

De acordo com Fitzsimmons e Fitzsimmons (1998), entre as estratégias orientadas para controlar o nível de fornecimento de serviços há o planejamento de turnos de trabalhos, a utilização de empregados de jornada parcial e o treinamento de pessoal. O treinamento dos funcionários em várias atividades que envolvam relacionamento com o cliente, a fim de torná-los mais flexíveis, é importante para empresa. Entretanto, existem técnicas de alocação de recursos que, quando bem utilizadas, podem ajudar a melhorar o nível de serviço da empresa com um custo otimizado.

O escalonamento de força de trabalho descreve em detalhe a escala em que o funcionário irá trabalhar em um determinado período. Dantzig (1954) relatou pela primeira vez o escalonamento de força de trabalho como sendo um problema de programação matemática. Pesquisas têm sido desenvolvidas com inúmeras soluções para aproximação da solução ótima. Soluções metodológicas têm sido criadas com conjuntos de aproximações utilizando programação linear (modelos de programação linear são uma classe especial de modelos de otimização com restrições), programação inteira, programação objetiva, redes de fluxo, programação não linear e programação dinâmica.

Modelos matemáticos utilizados nas técnicas de escalonamento de força de trabalho são frequentemente classificados em três categorias de problemas, originalmente definidos por Baker (1976). Esses problemas são:

- a) Escala de turnos de trabalhos (*shift scheduling*) – que correspondem a uma escala horária de trabalho;
- b) Escala de dias de trabalho (*days off scheduling*) – relativo a escala diária de trabalho e quais serão os dias de folga; e
- c) Escala de jornada de trabalho (*tour scheduling*) – é a soma do turno e do dia de trabalho.

De acordo com Dantzig (1954), (Bailey e Field,1985; Hederson e Berry, 1976; Keith, 1979; Krajewski *et al.* , 1980; Mabert e Watts, 1982; Morris e Showalter, 1983; Showalter and Mabert, 1988) *apud* Thompson (1996) em geral a programação linear e inteira dos

modelos de escalas de trabalho possui variáveis de decisão explícitas, ou seja, cada coluna contém informações suficientes para especificar exatamente a escala de trabalho.

Ao contrário dos modelos explícitos, existem os modelos implícitos, que oferecem vantagens. Em um modelo implícito, cada coluna não contém informações suficientes para especificar exatamente a escala de trabalho. Desta forma, modelos implícitos requerem um debate da solução para o processo das variáveis para a construção da escala de trabalho (Thompson, 1995).

Todavia, a praticidade dessa escala só pode ser utilizada em ambientes que permitam flexibilidade em termos de: funcionários começarem a trabalhar a qualquer hora, colocação de parada para refeição, tamanho de turnos, e outros fatores. Esses problemas implícitos podem conter milhões de variáveis que não podem ser resolvidas utilizando métodos disponíveis de programação inteira. Por esta razão, várias heurísticas têm sido desenvolvidas, (Thompson, 1995, Moondra, 1976, Betchold e Jacobs, 1996 *apud* Brusco and Jacobs, 2000), concentrando os modelos de programação inteira que implicitamente representam diferentes formas de escalas flexíveis.

De acordo com Brusco e Jacobs (2000), pesquisas de modelos implícitos podem ser divididos em duas categorias: escala de turnos implícitos e escala de jornadas implícitas. Moondra (1976) *apud* Thompson (1996) foi o primeiro a definir turnos implícitos. Esses modelos são geralmente designados para fornecer representações compactas de problemas de escala para as quais existem flexibilidades significativas nos itens de tamanho de turno, de parada de refeições, ou outros fatores.

Modelos de programação inteiros implícitos, também têm sido desenvolvidos pelos autores Jacobs e Brusco, (1996); Bailey, (1985); Becthold, (1988); Jacobs e Bechtold, (1993); Jarrah *et al.* (1994) *apud* Brusco e Jacobs (1998), para problemas de escala de jornadas. Esse problema é caracterizado pela integração da escala do turno no dia e da escala dos dias de folga na semana. Tanto os turnos quanto a folga e parada de refeições são variáveis, ou seja, em um dia de trabalho o turno pode ser de 8 horas e no outro será de 4 horas.

4.1.1 Problemas de escala de dias de trabalho (*days off scheduling*)

O problema de escala de dias de trabalho tem como objetivo determinar, para cada funcionário, qual dia ele irá trabalhar e qual dia ele terá folga durante a semana. A resolução

desse problema tem a intenção de satisfazer a demanda de trabalho com o mínimo custo possível.

A versão mais comum desse problema envolve cinco dias de trabalho na semana e dois dias de folga, em 7 dias de operação, como com aeromoças e coletores do pedágio. Os autores Venkataraman e Brusco (1996) determinam a alocação de jornadas de trabalho para enfermeiras.

Os autores Alfares (1998) e Billionet (1999) mostram que esta técnica tem sido utilizada em ambientes onde os dias de folga do trabalhador são obrigatoriamente consecutivos. Já os autores Bechtold (1988) *apud* Brusco e Johns (1995) e Jacobs e Bechtold (1993) aplicam também a técnica quando o cenário da folga é intercalado.

O modelo fundamental é baseado em 7 dias de operação. De acordo com Baker (1976), devem ser levadas em conta duas hipóteses, para cada funcionário:

1. Trabalha cinco dias da semana; e
2. Recebe o direito de ter dois dias consecutivos de folga.

A notação para tratar esta alocação, segue:

$$r_i = \text{equipe necessária no dia } i, \quad 1 \leq i \leq 7,$$

$$x_j = \text{equipe alocada para trabalhar na forma } j.$$

Em virtude de a segunda hipótese ter sido estabelecida, existem apenas sete formas de trabalho, e sem perda de generalidade pode seguir a forma j como sendo os dias de folga j e $j+1$. Chama-se função objetivo aquilo que será analisado. Então, a força de trabalho mínima requerida é:

$$W_{min} = \sum_{i=1}^7 r_i / 5 \tag{1}$$

Onde:

$$W_{min} = \text{força de trabalho mínima} = \text{tamanho da equipe}$$

Evidentemente uma alocação envolvendo tamanho da força de trabalho W_{min} poderá ser uma alocação ótima quando a função objetivo minimizar o tamanho da equipe enquanto $W_{min} \geq r_i$, para $1 \leq i \leq 7$. Para W_{min} ser alcançado, entretanto, cada necessidade diária (b_i) deve ser exatamente encontrada. Se $b_i = W_{min} - r_i$ então toda necessidade será conhecida se a equação abaixo assegurar:

$$\begin{array}{rcl}
 x_1 & & + x_7 = b_1 \\
 x_1 + x_2 & & = b_2 \\
 & x_2 + x_3 & = b_3 \\
 & & x_3 + x_4 = b_4 \\
 & & & x_4 + x_5 = b_5 \\
 & & & & x_5 + x_6 = b_6 \\
 & & & & & x_6 + x_7 = b_7
 \end{array} \tag{2}$$

Este sistema de sete equações e sete incógnitas é bem comportado, e sua solução pode ser obtida facilmente, ou manualmente. Ela será uma solução ótima para o problema do mínimo tamanho de equipe se, e somente se, W_{min} resultar em um número inteiro, $W_{min} \geq r_{máx}$ e todos os valores de x_j forem positivos.

4.1.2 Problemas de escala de turnos de trabalho (*shift scheduling*)

O mais detalhado problema de alocação de equipes aparece em situações tais quais: escalas de operadores de telefone (Lin *et al*, 2000) ou coletores de lixo, onde a demanda por equipe flutua ao longo do dia. A alocação deve conhecer a necessidade de cada turno, dando a flutuação do tamanho de força de trabalho seguindo o mesmo padrão dos turnos necessários.

Alguns autores como Melachrinoudis e Olafsson (1995), utilizam o problema de escala de turnos de trabalho para otimizar o número de caixas de supermercado que devem estar funcionando para atender a demanda. Outro exemplo é Mason *et all* (1998), que utiliza esta técnica para auxiliar a estabelecer o mínimo de pessoas que devem estar no atendimento de embarque e desembarque do aeroporto internacional de Auckland, Nova Zelândia. Em ambos os casos a técnica de alocação de turnos foi uma etapa de várias fases do estudo.

Uma vantagem significativa da não sobreposição de turnos, de acordo com Baker, (1976), é que o problema de alocação é trivial para resolver, e a solução é relativamente fácil

de implementar. Por exemplo, na tabela 2.4 a soma do número de funcionários alocados em cada turno de oito horas é o total da força de trabalho necessária para a empresa.

Tabela 4.1: Exemplo da não sobreposição de turnos

Turnos	Necessidades	Equipes alocadas
8:00 – 16:00	25	25
16:00 – 24:00	20	20
24:00 – 8:00	10	10
		55

Entretanto, a configuração é muito rígida para situações onde o intervalo no qual a demanda flutua é pequeno comparado com o tamanho do turno. Existem modelos de alocação, com sobreposição de turnos, onde a variação da demanda reflete na necessidade de variar em um intervalo de quatro horas, todavia funcionários trabalham em turnos de oito horas. De acordo com Wagner (1986), o modelo básico, talvez o melhor, para alocações com sobreposição de turnos é conhecido como Kleen City Problem (KCP).

Por exemplo, na tabela 2.5 os turnos de trabalho são em períodos de quatro horas e começam em seis horários distintos ao longo do dia. Para tratar esta alocação mais formalmente, segue:

$$r_i = \text{equipe necessária no turno } i, \quad 1 \leq i \leq 6,$$

$x_i =$ equipe alocada para trabalhar no turno i e $i+1$ (onde o turno 6 envolve o turno 1).

Tabela 4.2: Exemplo de sobreposição de turnos

Turnos	Necessidades
8:00 – 12:00	90
12:00 – 16:00	30
16:00 – 20:00	60
20:00 – 24:00	50
24:00 – 4:00	20
4:00 – 8:00	20

A solução ótima de alocação que minimize o tamanho de equipe necessária é dada por uma solução de programação linear inteira, onde se deve:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^6 x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_6 \quad (3)$$

Sujeito as seguintes restrições:

$$\begin{aligned} x_1 + x_6 &\geq r_1 \\ x_1 + x_2 &\geq r_2 \\ x_2 + x_3 &\geq r_3 \\ x_3 + x_4 &\geq r_4 \\ x_4 + x_5 &\geq r_5 \\ x_5 + x_6 &\geq r_6 \\ x_i &\geq 0 \text{ e ser inteiro} \end{aligned} \quad (4)$$

As variáveis de decisão nesse modelo devem ser inteiras e positivas para a solução ter sentido. A formulação da equação 3, de acordo com Wagner (1986), pode ser generalizada para a necessidade de pequenos intervalos de demanda e mais turnos ao longo do dia, definindo o indicador da variável a_{ij} como:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= 1 \text{ se o turno padrão } j \text{ chama para trabalhar durante o período } i, \\ &= 0 \text{ se não chama.} \end{aligned}$$

Então o turno padrão do tipo j é especificado pelo vetor a_{ij} . Neste momento, o n marca o número de períodos existentes no ciclo de trabalho, isto é, $n = 24$, para um período do tamanho de uma hora em um ciclo de um dia. Além disso, o m é o número de turnos padrão aceitável. Então, o problema geral de escalas de turnos pode ser formulado:

$$\text{Minimizar } \sum_{j=1}^m c_j x_j \quad (5)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq r_i, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (6)$$

$x_j \geq 0$ e ser inteiro.

Aqui, o valor de c_j é o custo de alocação do funcionário para o turno padrão j . Se o objetivo é minimizar o número de funcionários, então $c_j = 1$. Mas, em geral, c_j pode refletir em um diferencial na taxa custo benefício para os vários padrões.

4.1.3 Problemas de escala de jornada de trabalho (*tour scheduling*)

O problema da jornada de trabalho, de acordo com Brusco e Jocbs, (1998), tem sido tratado como um estudo de escala flexível que permite funcionários começarem a trabalhar em qualquer hora do horizonte de planejamento, contanto que seus turnos não se estendam mais do que o número máximo de horas permitidas.

Para muitas aplicações práticas, o número de turnos para iniciar uma jornada pode ser muito grande. Por exemplo, em um ambiente onde a escala planejada é com intervalos de turnos de 15 minutos para operar nas 24 horas do dia, têm-se 96 turnos potenciais para o trabalhador iniciar a sua jornada. Claramente, a complexidade dessa administração está associada à grandeza do número de turnos criados e à necessidade das restrições para esses inícios de turnos.

Problemas de escala de jornadas têm, freqüentemente, sido modelados utilizando uma adaptação da formulação geral, originalmente sugerida por Dantzig (1954), como segue:

$$\text{Minimizar } \sum_{k=1}^{n_l} X_k, \quad (7)$$

$$\text{Sujeito a restrições } \sum_{k=1}^{n_l} a_{ijk} X_k \geq r_{ij}, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, h, \quad (8)$$

$$j = 1, 2, \dots, w;$$

$$X_k \geq 0 \text{ e inteiro} \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, n_l; \quad (9)$$

onde:

n_l = o número total de jornadas permitidas;

h = o número de períodos planejados na operação diária;

w = o número de dias no planejamento operacional da semana;

X_k = o número de funcionários designados para a jornada k ;

$a_{ijk} = 1$ se o planejamento do período i do dia j é um período trabalhado na jornada k ,

0 se não;

r_{ij} = o número de funcionários requerido para estar presente no planejamento do período i do dia j .

O objetivo da fórmula 7 é minimizar o total da força de trabalho, assim como representar o custo da função. Restrições (8) são designadas para assegurar que a demanda em cada planejamento do período seja satisfeita. Restrições (9) estabelecem que as variáveis de decisão obrigatoriamente são positivas e inteiras.

CAPÍTULO 5 – MÉTODO PROPOSTO

As empresas prestadoras de serviço possuem um grande desafio que é equilibrar a demanda de serviços ofertados com a capacidade de produção. As empresas entendem que para atender seu cliente, com qualidade e com o menor custo possível, é necessário, entre outras ações, dimensionar as suas equipes. Para isso, será desenvolvido um método que possa ser executado tantas vezes quantas se fizer necessário.

O método proposto tem como objetivo dimensionar o número de pessoas necessárias para atender a demanda em uma empresa prestadora de serviços de manutenção em rede elétrica. Esse método se caracteriza como um modelo geral sendo constituído de três modelos distintos como mostra o esquema da figura 5.1: um modelo de simulação, um de previsão e um de alocação.

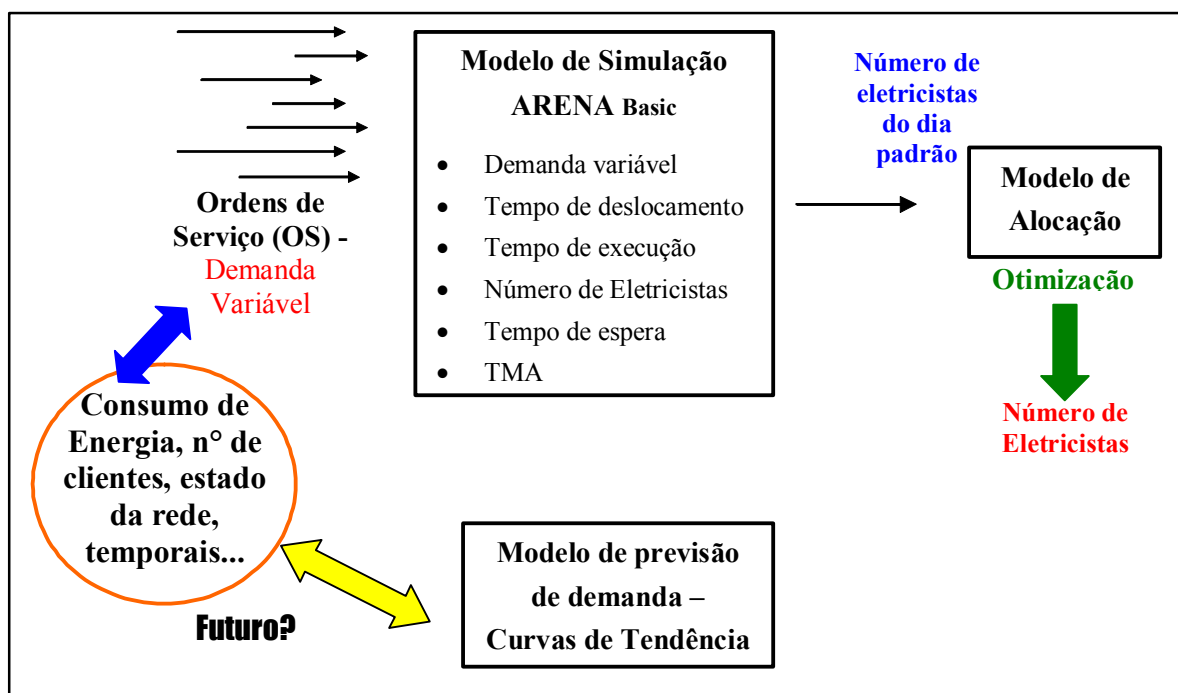


Figura 5.1: Modelo Geral

A integração entre os modelos é realizada através dos dados de entrada e saída. Os dados de saída do modelo de previsão são essenciais para a análise dos dados de entrada do modelo de simulação, e os dados de saída do modelo de simulação são os dados de entrada do modelo de alocação.

Existe, nesse trabalho, uma ordem na montagem dos modelos. O primeiro a ser construído é o de previsão. Nesta etapa deverão ser analisadas, além do modelo matemático, algumas variáveis que podem influenciar essa análise. O segundo modelo a ser construído é o de simulação. Esse modelo deve reproduzir, o mais aproximadamente possível, o processo de atendimento dos serviços solicitados às equipes. Nele deverá constar toda a complexidade deste processo. O último modelo a ser construído é o de alocação, o qual o resultado final da simulação (equipe/h) deve otimizar o número de equipes que executam os serviços diários demandados.

5.1 MODELO DE PREVISÃO

O objetivo do modelo de previsão é estimar a quantidade de serviços que serão solicitados pelos clientes, isto é, prever a demanda pelos serviços. Em primeiro lugar é necessário passar por uma fase exploratória onde será analisado todo o serviço relacionado às equipes de eletricitas da empresa. Nesta análise busca-se identificar os vários tipos de atividades relacionadas ao serviço ofertados pela empresa, bem como a frequência com que essas atividades são geradas.

Em segundo lugar, é importante, em função do volume de atividades classificar quais as mais expressivas. Conforme descrito no item 2.2 do capítulo 2, será utilizado o método ABC. Através desse método, pode-se perceber que existe um pequeno grupo de atividades que representam cerca de 80% do total de serviços executados. Essas tarefas, que com maior frequência são realizadas, merecem mais atenção, pois são elas que representam a maior demanda das equipes de eletricitas.

Cada atividade possui suas particularidades, entretanto algumas delas possuem características comuns que possibilitam a criação de grupos. Neste sentido, pode-se realizar a previsão de demanda dos serviços executados pelas equipes de eletricitas com atividades agrupadas por afinidade.

Além das análises dos dados, para a geração da previsão de demanda, é necessário definir alguns elementos temporais: o período, o horizonte de tempo e o intervalo da previsão. Os dados serão coletados em função desses elementos temporais. Assim, o período de coleta dos dados, nesse estudo de caso, é mensal. O horizonte de previsão é de doze meses, para que se possa conhecer a média mensal anual estimada, e o intervalo de previsão é anual. Os dados das atividades que pertencem ao mesmo grupo foram somados e formaram a série histórica do grupo.

Com base nessa série histórica são feitas análises através de gráficos e estatística descritiva simples para verificar a existência de um padrão que possa ser reconhecido antes de se efetuar a previsão. Analisa-se também a existência de dados espúrios, pois eles podem fazer com que o analista tenha dificuldade de modelar corretamente a série temporal. É necessário, portanto, avaliar esses pontos. Neste caso, esses valores podem ser causados por erros de digitação, decisões gerenciais, consumo de energia excessivo, tempestades, descargas atmosféricas, entre outros.

Logo após ter identificado os grandes grupos de tarefas, iniciou-se a previsão de demanda utilizando o pacote computacional *Forecast Pro* (Stellwagen e Goodrich, 1999), este pacote possibilita a escolha automática do modelo de previsão mais apropriado. O software teste vários modelos e analisa os erros, o modelo que obter o menor erro tem a maior chance de ser o mais apropriado.

Com as análises concluídas e os dados espúrios tratados, pode-se incluir a série histórica no software, obtendo-se uma indicação de qual o melhor modelo matemático que ele indicará. Analisam-se, também, alguns parâmetros estatísticos como MAPE, R^2 para avaliar se a previsão atingiu os objetivos ou se será considerada totalmente aleatória. O software *Forecast Pro* sugere a demanda média e indica, com um intervalo de confiança de 95%, o limite inferior e o limite superior. Cabe ao analista de previsão, juntamente com o especialista, escolher quais dados irá utilizar para o modelo seguinte.

5.2 MODELO DE SIMULAÇÃO

A partir dos resultados do estudo da previsão de demanda passa-se a etapa da simulação. Inicia-se com a compreensão do processo geral de atendimento das atividades

pelas equipes de eletricitistas da empresa. Esse procedimento é importante para que se possa identificar quais etapas do processo devem realmente ser envolvidas no modelo de simulação, a fim de aproximar o modelo da realidade.

O modelo de simulação tem como objetivo o resultado do tempo de atendimento para um determinado número de equipes por hora. Para isso, é preciso analisar algumas variáveis que interagem as etapas do processo e coletar dados referentes ao atendimento (maiores detalhes serão abordados no capítulo 6). São elas:

- tipo de atividades: as atividades são classificadas basicamente em dois tipos, as comerciais e as emergências;
- tempo de execução das atividades: é o tempo que a equipe leva para executar a atividade;
- tempo de deslocamento das equipes: é o tempo que a equipe leva para se deslocar até o local do atendimento e iniciar a execução da tarefa;
- prioridade de atendimento: as atividades emergenciais possuem prioridade sobre as atividades comerciais;
- horários de atendimento: as atividades emergenciais são atendidas 24 horas, entretanto, as atividades comerciais somente são atendidas em horário comercial;
- número de equipes de eletricitistas: é o número de equipes alocadas para atender uma determinada região;
- tempo médio de atendimento: é um indicador da empresa e é constituído pela soma de três tempos: espera, deslocamento e execução;
- região de ocorrências: as atividades podem ocorrer em duas regiões, em áreas urbanas ou em áreas rurais.

A confiabilidade dos dados de entrada é imprescindível para a geração de um modelo de simulação confiável. Se, por exemplo, a intenção é estudar quantas equipes são necessárias para atender a demanda de serviços gerada em uma empresa, é insuficiente saber a quantidade total de serviços. Precisa-se saber, também, a frequência com que essas atividades são

demandadas. Conhecer e estudar essa taxa de chegada (intervalo entre as chegadas do serviço) se torna fundamental para o bom desempenho do modelo de simulação.

Após foi escolhido o Software Arena Bussines (PARAGON, 2000), para implementar o modelo de simulação. No ARENA, a modelagem é feita visualmente com objetos orientados à simulação. O processo de modelagem (construção do modelo) no ARENA, simplesmente, é o ato de explicar como acontece o sistema na realidade. Essa explicação se dá de uma forma de fácil entendimento semelhante a um fluxograma.

O fluxograma é uma das ferramentas mais usadas atualmente para se descrever o funcionamento de um sistema. É constituído de formas geométricas que representam procedimentos, decisões a serem tomadas, início e término de processos. No ARENA, estas formas geométricas são substituídas pelos elementos do modelo básico. A figura 5.2 mostra os elementos com as funções básicas usadas no modelo proposto, que podem ser encontrados na maioria dos fluxogramas.

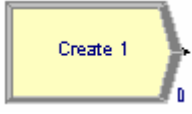
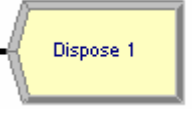
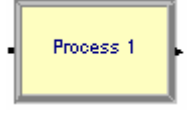
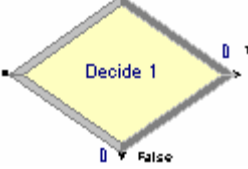


Elementos Básicos	Descrição
	<p>Início: representa o início do processo, neste módulo será identificado o grupo de atividade, o número de atividades por chegada, e o intervalo de chegada das atividades.</p>
	<p>Saída: representa o término de um processo, este é o elemento de contraparte do create, sempre será colocado no final do fluxograma. Apenas receberá as atividades para a estatística final.</p>
	<p>Processo: representa uma operação dentro do processo, por exemplo, o tempo gasto por um operador em determinada operação, quantas equipes deverão ser alocadas, etc.</p>
	<p>Decisão: representa um desvio ou não na seqüência do fluxograma. Aqui se pode verificar a qual grupo a atividade pertence e encaminhar para a operação adequada, ou se a atividade pertence à região urbana ou rural.</p>
	<p><i>Designar</i>: este módulo serve para atribuir valores às variáveis, definir quais os tempos de execução e de deslocamento de cada grupo de atividades e suas prioridades.</p>
	<p><i>Registrar</i>: serve para coletar dados para a estatística em pontos do modelo escolhidos pelo usuário, por exemplo, ou contagem de atividades, ou freqüência, ou intervalos de tempo.</p>

Figura 5.2: Descrição dos processos básicos de acordo com o modelo de simulação estipulado.

Na figura 5.3 pode-se visualizar o modelo completo proposto para a simulação do processo de atendimento de atividades pelas equipes de eletricitistas da empresa. O quadrado menor, figura 5.3 (a) representa o grupo com as atividades emergenciais, que precisam ter uma atenção maior, pois seu processo é mais complexo do que os grupos das atividades comerciais.

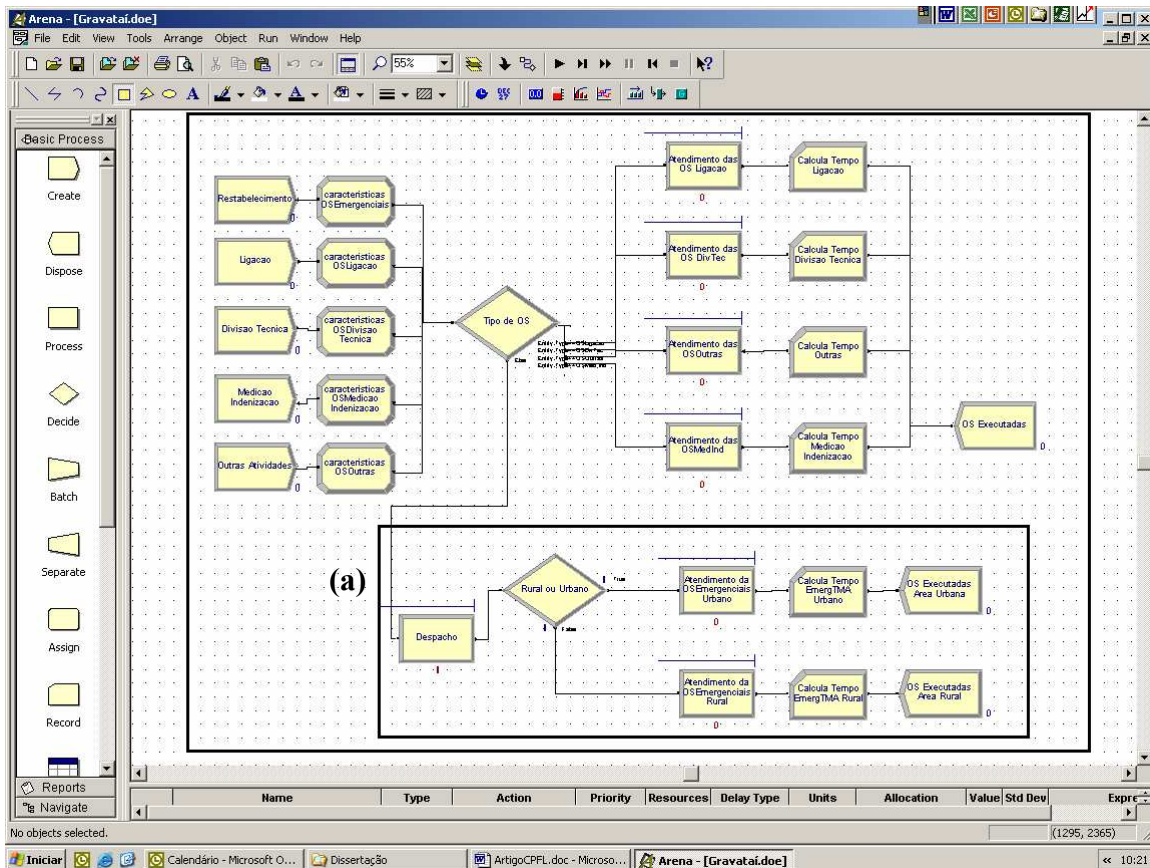


Figura 5.3: Modelo completo de simulação

Seguindo a etapa de construção do modelo no Arena, precisa-se verificar se o software está reproduzindo bem os resultados esperados, inicia-se então a etapa da validação do modelo. O processo de validação consiste na comparação entre os resultados do modelo de simulação com os dados reais da empresa. Foram considerados e comparados os seguintes parâmetros:

- geração de atividades (quantidade, média e desvio padrão);
- número de equipes;
- tempo médio de atendimento;

Com a etapa da validação vencida, pode-se estabelecer quantos cenários deverão ser simulados e quantas replicações serão feitas. As variáveis do modelo são definidas com distribuições de probabilidade estatísticas, as replicações são realizadas para encontrar no resultado um valor médio com seu desvio padrão.

Na simulação a geração de atividades será diária e será executado durante um mês corrido. Serão feitas 12 replicações com o propósito de calcular uma média mensal de geração de atividades. Essa média mensal de atividades deverá ser aproximadamente igual à que foi estimado com o modelo de previsão.

Será construído um número de cenários suficientes para analisar o comportamento das variáveis de tempo de atendimento e número de equipes. Nesses cenários será alterado apenas o número de equipes necessárias por hora. Para atender a mesma demanda (número de atividades), deve-se considerar nesses cenários desde pequeno número de equipes atendendo as atividades até um número elevado de equipes. O resultado que será analisado é o tempo médio de atendimento das atividades emergenciais e o prazo de execução das atividades comerciais. Com isso, consegue-se analisar o comportamento do tempo de atendimento em relação ao número de equipes.

5.3 MODELO DE ALOCAÇÃO

O objetivo do modelo de alocação é otimizar os resultados do modelo de simulação, uma vez que a simulação apresenta o número de equipes por hora. Com o modelo de alocação pode-se saber a quantidade mínima de equipes para atender o dia de trabalho da empresa.

O modelo proposto é de programação linear e apresentará a modelagem adequada para a tomada de decisão associada à alocação de recursos. As variáveis de decisão, as quais assumem os valores reais maiores ou iguais a zero, representam ações que o tomador de decisão pode realizar, como, por exemplo, escalar 5 equipes para o turno que inicia às 8:00hs da manhã. Então, tem-se, nesse modelo de alocação, 24 variáveis de decisão, que são todas as horas do dia.

A função objetivo é aquela que se quer maximizar (por exemplo, lucros) ou minimizar (por exemplo, equipes). A formulação do problema diz que esta função deve ser a maior ou a menor possível, atendendo às restrições do sistema. Como o nosso objetivo é determinar quantas equipes são necessárias para atender o dia de trabalho, deve-se somar todos os resultados nas variáveis de decisão.

As restrições são valores numéricos designados para as variáveis de decisão de modo a influenciar a função objetivo. O modelo exige que os valores numéricos sejam tais quais que nenhuma restrição seja violada. As restrições limitam indiretamente os possíveis valores das variáveis de decisão. Esses valores podem ser restrições do número de equipes, assim como o número total disponível de horas trabalhadas.

Para a alocação foram definidos alguns atributos: a jornada de trabalho das equipes de eletricitistas é de 7:20hs e eles trabalham seis dias por semana, folgando um dia, as equipes alocadas para trabalhar à noite ficam em sobreaviso (as equipes ficam à disposição da empresa, em suas casas). Na figura 5.4 pode-se analisar o modelo de alocação que foi construído na ferramenta do solver no excel.

The screenshot shows the Microsoft Excel Solver interface. The Solver Parameters dialog box is open, displaying the following settings:

- Definir célula de destino: $\$B\2
- Igual a: Máx Mín Valor de: 0
- Células variáveis: $\$B\$5:\$Y\5
- Submeter às restrições:
 - $\$B\$5:\$Y\$5 = \text{número}$
 - $\$Z\$7:\$Z\$30 \geq \$AA\$7:\$AA\30

The spreadsheet background shows a grid of binary variables (0 or 1) representing team assignments across 24 hours (columns B-Y) and 30 teams (rows 7-30). The Solver Parameters dialog box also shows a list of constraints on the right side of the dialog.

Figura 5.4: Mostra o número de equipes necessárias para o atendimento

Com os cenários gerados pelo modelo de simulação faz-se então a alocação de igual número de escalas para a geração do número de equipes. Depois de alocado o número de

equipes para as escalas, pode-se analisar os cenários e decidir com qual deles quer se trabalhar. No capítulo 6, o estudo de caso, será demonstrada a aplicação do método geral proposto em uma empresa distribuidora de energia elétrica.

CAPÍTULO 6 – ESTUDO DE CASO

6.1 A EMPRESA

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa distribuidora de energia elétrica localizada no Estado do Rio Grande do Sul, chamada Rio Grande Energia – RGE. A área de abrangência da empresa compreende 254 Municípios do Estado do Rio Grande do Sul (fonte: RGE – setembro 2003). Como a área da concessão é extensa, a empresa presta seus serviços através de 62 bases operacionais distribuídas geograficamente pela área de concessão. Em cada base operacional há equipes de eletricitas para atender a demanda do serviço.

Os serviços prestados pela empresa abrangem a colocação de medidor para novas ligações, atendimento à falta de energia, verificação de poste em mau estado, colocação de ramal de ligação, verificação da correção da medição, entre outros (ver tabela 6.1). Esses serviços chegam aleatoriamente na empresa. Para este estudo, foi analisado o serviço que constitui basicamente o atendimento de clientes para compor o fornecimento de energia. O processo do atendimento é feito pelas equipes de eletricitas, com uma demanda variada.

Tabela 6.1: Atividades executadas pelas equipes de eletricitas da empresa

Descrição Ordens de Serviço (Atividades executadas pelas equipes)
1 Aumento de Carga
2 Colocar faixas
3 Colocar ME e Ligar UC - AT
4 Colocar ME e Ligar UC - BT
5 Colocar ME e ligar UC provisório - BT
6 Cortar UC provisório s/ME - BT
7 Danos em aparelhos
8 Desligar Chaves - AT
9 Desligar Conexões - BT
10 Desligar conexões e retirar ME p/ Reforma
11 Desligar por Falta de Pgto.- AT

- 12 Desligar por Falta de Pgto.- BT
- 13 Desligar ramal caso esteja autoreligado
- 14 EM-01 - Falta de Energia
- 15 EM-02 – Arvore tocando na rede
- 16 EM-03 - Fio Caído
- 17 EM-04 - Poste caído ou quebrado
- 18 EM-05 - Fios Faiscando
- 19 EM-06 - Oscilação de Tensão - Luz Piscando
- 20 EM-07 - Falta de Energia Não Atendida
- 21 EM-08 – Outras urgências/emergências
- 22 EM-09 - Desligamento programado-pedido Cliente AT
- 23 Inspeção de Viabilidade de Fornecimento
- 24 Inspeccionar padrão de entrada e medição
- 25 Instalar Aferidor a Pedido do Cliente
- 26 Instalar Aferidor a Pedido RGE
- 27 Instalar Medidor
- 28 Instalar medidor - Cortado por falta pgto.
- 29 Ligar Direto - BT
- 30 Ligar UC Provisório s/ ME - BT
- 31 Medidor ou Imóvel não Localizado
- 32 MT-01 - Poste em mau estado
- 33 MT-02 - Verificação de Nível de Tensão - Luz Fraca
- 34 MT-03 - Deslocamento de Poste ou Estai
- 35 MT-04 - Fios Enredados ou Muito Baixos
- 36 MT-05 - Poda a pedido do Cliente
- 37 MT-06 - Fio desencapado - substituir
- 38 MT-07 – Outros Serviços na Rede (programado)
- 39 Notificação de Reparação na Instalação
- 40 O/S – Confirmar endereço
- 41 O/S - Contatar com o Cliente - nega acesso leitura
- 42 O/S - Outras Causas
- 43 O/S - Religar URGENTE - Corte Indevido
- 44 O/S - Revisar instalação (ME, conexões, lacres, etc.)
- 45 O/S - Verif. cons. do ME(Teste do ME) a pedido Client
- 46 O/S - Verif. dados medidor kWh
- 47 O/S - Verificar atividade a pedido da RGE
- 48 O/S - Verificar atividade a pedido do Cliente
- 49 O/S - Verificar dados do contrato
- 50 O/S - Verificar dados gerais do ME a pedido Cliente
- 51 O/S - Verificar danos no(s) Aparelho(s) Elétrico(s)
- 52 O/S - Verificar lacre do ME e CP a pedido RGE
- 53 O/S - Verificar leitura ME (reclamação excesso consumo) - BT
- 54 Ordem de Serviço não classificada
- 55 Redução de Carga
- 56 Religar - AT - Urgente
- 57 Religar - BT - Urgente
- 58 Religar - BT Normal
- 59 Religar - AT Normal
- 60 Religar com O/S de Corte em Execução - AT
- 61 Religar com O/S de Corte em Execução - BT

- 62 Religar conexões e colocar ME após Reforma
 - 63 Retirar Aferidor
 - 64 Retirar ME e Desligar Chave – AT
 - 65 Retirar ME e Ramal – BT
 - 66 Retirar ME e Ramal de UC Provisório – BT
 - 67 Retirar ME p/Aferição a Pedido Cliente
 - 68 Retirar ME p/Aferição a Pedido RGE
 - 69 Retirar ME por Falta de Pgto – AT
 - 70 Retirar ME por Falta de Pgto – BT
 - 71 Revisão de Cadastro
 - 72 Revisar ME e Ligar UC – AT
 - 73 Revisar ME e Ligar UC – BT
 - 74 Substituir ME – AT
 - 75 Substituir ME – BT
 - 76 Troca de Medidor
 - 77 Trocar ME de Local
 - 78 Verificação dos Dados do Cliente
 - 79 Verificar Acesso à Medição a Pedido RGE
 - 80 Verificar Constante de Medição a Pedido RGE
 - 81 Vistoriar Condições Técnicas da UC
 - 82 Vistoriar para Ligar Nova UC
-

O fluxo do processo de atendimento pode ser descrito da seguinte maneira: o cliente liga para o “*call center*” da empresa, que funciona 24 horas; o atendente registra a ocorrência. Se o serviço é caracterizado como emergencial, imediatamente gera uma Ordem de Serviço (OS) para o Centro de Operações (COD) que rapidamente envia a OS para o veículo mais próximo da ocorrência, via satélite. Por outro lado, se o serviço for considerado como comercial, a OS gerada é enviada para o COD, mas entra na fila de atendimento.

O tempo de atendimento da OS é composto por um tempo de espera, um tempo de deslocamento e um tempo de execução. O tempo de espera se caracteriza por todo o trajeto da reclamação ou solicitação desde o teleatendente até o eletricitista iniciar o seu deslocamento para efetuar o serviço. O tempo de deslocamento é o tempo que o eletricitista leva para se deslocar até o local do serviço. Por último, o tempo de execução que vai desde o momento em que o eletricitista começa a executar a atividade até a sua conclusão.

O setor elétrico é regulado por um Órgão de Regulação do Governo Federal, a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, que controla os indicadores, definidos no contrato de concessão, os quais deverão ser atendidos pelas empresas do setor. Um dos indicadores utilizados pela empresa para medir a satisfação do cliente é o Tempo Médio de

Atendimento (TMA). O TMA é a média aritmética dos tempos de atendimento de todas as ocorrências.

No contrato de concessão da empresa estão definidos os seguintes indicadores: atividades com característica emergencial o consumidor urbano deve ser atendido em até 70 minutos; já para o consumidor rural o prazo aumenta para até 150 minutos. As atividades com características comerciais ou técnicas possuem prazos maiores (de 48 a 120 horas). Apenas as ordens de serviço emergenciais são consideradas no indicador TMA (ver equação 1), que se desdobra em dois: TACu (Tempo de Atendimento ao consumidor urbano) e TACr (Tempo de Atendimento ao consumidor rural).

$$TMA = \frac{\sum TACu + \sum TACr}{n^{\circ} \text{ de ocorrências}} \quad (1)$$

Como já foi mencionado anteriormente, em cada base operacional há equipes de eletricitas para atender a demanda do serviço. O estudo de caso foi realizado na base operacional de Gravataí, a qual abrange o município de Cachoeirinha, Glorinha e Gravataí. Esta base operacional possui uma demanda de aproximadamente 5000 Ordens de Serviços mensais, volumes típicos de uma área urbana densa.

De acordo com dados históricos da empresa, deste volume mensal, 42% são OS Emergenciais e 58% são OS Comerciais, sendo que 82% do atendimento é realizado em áreas urbanas e 18% em áreas rurais.

6.2 ANÁLISES PRELIMINARES DAS ATIVIDADES REALIZADAS PELAS EQUIPES DE ELETRICISTAS

As equipes executam aproximadamente 80 tipos diferentes de serviços e todos os seus integrantes estão aptos a desenvolver qualquer atividade. As atividades foram analisadas em relação as suas características de quantidade e tempo de execução. Para esta classificação utilizou-se o método ABC como mostra a Figura 6.1. Os dados históricos analisados vão desde junho de 2000 até maio de 2001, completando 12 meses.

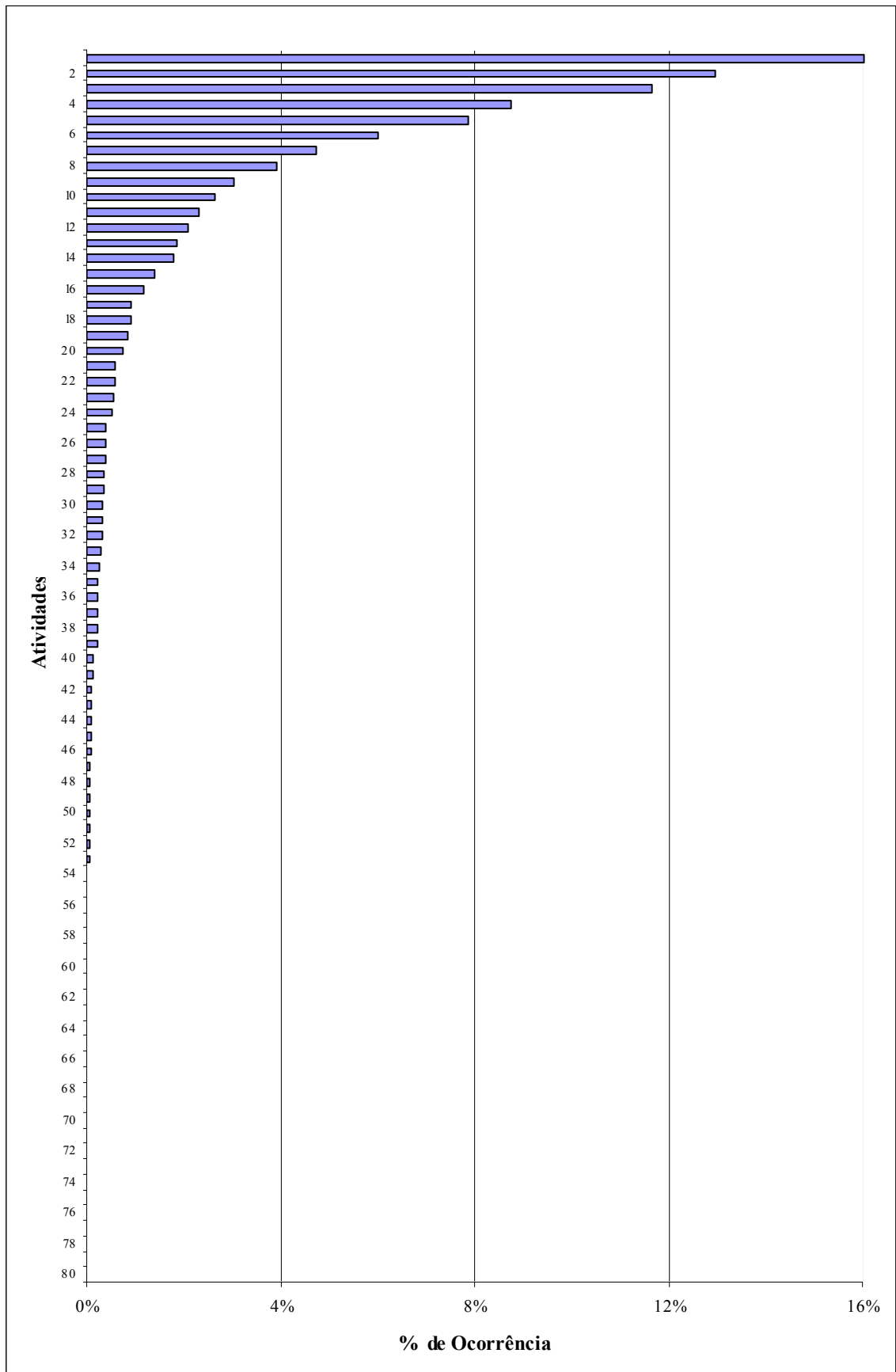


Figura 6.1: Pareto com a % de ocorrências geradas em um ano de empresa.

Neste ABC, foi levada em conta a quantidade de OS em um ano de geração e a média do tempo de execução de cada atividade. Os tempos de execução das OS Comerciais foram retirados do Manual do Eletricista Padrão (Rio Grande Energia, 2001), manual esse, elaborado pela própria empresa, que contém todas as atividades padronizadas com seus respectivos tempos médios. Como somente as atividades emergenciais contam no indicador de TMA, esse dado possui série histórica. As OS emergenciais possuem cadastramento dos seus tempos nas diferentes etapas do processo de atendimento.

Com o método ABC chegou-se à conclusão de que 11 atividades, sendo três emergenciais, correspondem a 80% do total dos serviços executados pela empresa, ver tabela 6.2 (as atividades pertencentes ao grupo C estão no anexo). Três delas, as maiores em volume, têm como causa a falta de pagamento por parte do cliente, o que gera uma ordem de serviço de desligamento do cliente. Uma vez paga a conta, é gerada outra atividade, a de ligação do cliente (religie BT normal – prazo: 48 horas, ou urgente – prazo: em até 4 horas). A partir da análise desses dados, a empresa optou por terceirizar esses serviços. Portanto, não estão contabilizadas no estudo essas atividade.

Em um primeiro momento, a previsão de demanda foi abordada por atividade. As atividades pertencentes à classe A seriam trabalhadas individualmente, enquanto que atividades pertencentes às outras classes, B e C, seriam agrupadas. Entretanto, numa análise mais detalhada verificaram-se algumas dificuldades com os grupos B e C. No grupo B, por exemplo, existem atividades com características muito diferentes, tais como prazos de atendimento, prioridade de execução e, até, o próprio tempo de execução das tarefas. Concluiu-se, então, que não seria uma boa solução unir as atividades desta maneira.

Tabela 6.2: Atividades pertencentes ao grupo A e B

Descrição - Ordens de Serviço	% do volume de atividades	% Acumulada	
1 EM-01 - Falta de Energia	16,04	16,038	Grupo A
2 Colocar ME e Ligar UC - BT	12,97	29,012	
3 Religar com O/S de Corte em Execução - BT	11,66	40,673	
4 Religar - BT - Urgente	8,76	49,431	
5 Religar - BT Normal	7,86	57,287	
6 Retirar ME por Falta de Pgto - BT	6,01	63,298	
7 Retirar ME e Ramal - BT	4,75	68,049	
8 EM-08 - Outras urgências/emergências	3,91	71,956	
9 Substituir ME – BT	3,02	74,978	
10 Desligar conexões e retirar ME p/ Reforma	2,64	77,618	
11 EM-03 - Fio Caído	2,31	79,929	
12 Ordem de Serviço não classificada	2,09	82,021	Grupo B
13 Inspeccionar padrão de entrada e medição	1,87	83,894	
14 EM-06 - Oscilação de Tensão - Luz Piscando	1,80	85,691	
15 Religar conexões e colocar ME após Reforma	1,39	87,081	
16 EM-05 - Fios Faiscando	1,17	88,251	
17 EM-07 - Falta de Energia Não Atendida	0,92	89,175	
18 Medidor ou Imóvel não Localizado	0,90	90,074	
19 Desligar Conexões - BT	0,85	90,919	
20 Revisar ME e Ligar UC - BT	0,76	91,679	
21 Instalar medidor - Cortado por falta pgto.	0,60	92,279	
22 MT-07 - Outros Serviços na Rede (programado)	0,58	92,857	
23 Aumento de Carga	0,56	93,413	
24 Vistoriar Condições Técnicas da UC	0,53	93,943	
25 Trocar ME de Local	0,40	94,344	
26 O/S - Verificar atividade a pedido do Cliente	0,39	94,734	
27 O/S - Verif. cons. do ME (Teste do ME) a pedido Client	0,38	95,109	

Num segundo momento, com a ajuda de especialistas da empresa e em função da análise dos grupos B e C, as atividades foram agrupadas de acordo com a semelhança de suas características técnicas, possibilitando separá-las em grandes grupos. Sabe-se que, dentro

desses grandes grupos, tem-se atividades que se destacam por serem mais demandadas. Assim, os grandes grupos formados são:

- a) grupo de Restabelecimento – são aquelas atividades consideradas emergenciais. Possuem prioridades sobre todas as outras, são essas que contam para o indicador da empresa;
- b) grupo de Ligação – são aquelas atividades relacionadas com a colocação e retirada de medidor (aparelho que mede a quantidade de energia gasta pelo cliente).
- c) grupo de Medição e Indenização – são atividades que verificam se o medidor está aferindo corretamente a medição de energia. Nesse grupo estão também as atividades de indenização, ou seja, a verificação em aparelhos queimados devido à variação de tensão.
- d) grupo de Divisão Técnica – esse grupo de atividades é, na maioria das vezes, gerado pela própria empresa. Trata-se de atividades de manutenção preventiva na rede.
- e) grupo Outras Atividades – esse grupo de atividades é constituída por todas aquelas que não se enquadram em nenhum dos outros quatro grupos.

Como mostra a figura 6.2, o grupo de restabelecimento corresponde a 42,45% do total de serviço da empresa, seguido pelo Grupo de Ligação com 40,36%. Os outros três grupos correspondem, juntos, a 17,19% do total de serviços demandados pelos clientes.

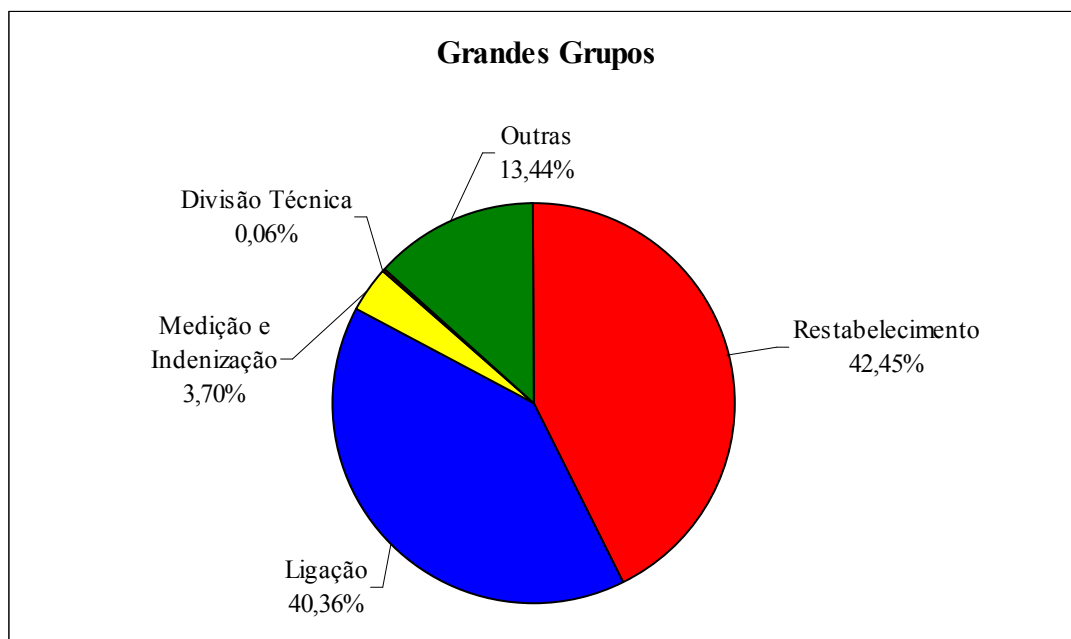


Figura 6.2: Proporção dos Grandes Grupos

A tabela 6.3 traz as características de prioridade de atendimento dos grandes grupos, assim como seus respectivos prazos de atendimento e os horários de atendimento aos clientes. Assim, uma atividade do grupo Ligação tem prioridade 2, prazo de atendimento de 48 horas e poderá ser atendida das 8 às 18 horas.

Tabela 6.3: Características dos Grupos de Atividades

Grupo	Prioridade de Atendimento	Prazos de Atendimento	Horários de Atendimento
Ligação	2	48 horas	8:00 – 18:00hs
Medição e Indenização	2	72 horas	8:00 – 18:00hs
Divisão Técnica	3	96 horas	8:00 – 18:00hs
Outras	4	120 horas	8:00 – 18:00hs
Restabelecimento	1	70 minutos (área Urbana – TACu) 150 minutos (área Rural – TACr)	24 horas

6.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE PREVISÃO

O modelo de previsão estabelece os futuros dados de entrada do sistema de simulação. Por isso, a análise dos dados é muito importante. Como se trata de uma empresa nova, tem-se uma série histórica confiável de apenas 31 meses e um horizonte de previsão de 12 meses. Utilizou-se, para a geração do modelo 24 meses (junho/00 – maio/02), sendo que os últimos 7 meses (junho/02 – dezembro/02) foram utilizados para avaliar o modelo de previsão.

Os dados históricos mensais das OS geradas foram agrupados nos seus respectivos grupos. Foi possível, então, representar a série histórica graficamente, e verificar a existência de valores espúrios.

A análise dos dados da série histórica dos grandes grupos identificou dois valores muito distantes dos demais dados do seu grupo. Esses dados foram retirados da série histórica e substituídos pela média do ponto imediatamente anterior e posterior para suavizar a série temporal. Na tabela 6.4, os valores entre parênteses são os dados ajustados da demanda dos grandes grupos.

Tabela 6.4: Série temporal com dados espúrios ajustados de demanda dos Grupos

Período	Restabelecimento	Ligação	Medição e Indenização	Divisão Técnica	Outras
Jun/00	2316	1992	83	0	629
Jul/00	2460	1992	116	0	769
Ago/00	2057	2132	102	0	831
Set/00	2208	1803	49	0	738
Out/00	2131	2019	151	0	623
Nov/00	1957	1986	97	0	551
Dez/00	2172	1841	68	0	581
Jan/01	2298	2094	65	0	938
Fev/01	1618	1844	99	0	493
Mar/01	2531	2338	204	0	677
Abr/01	2133	2017	307 (238)	0	640
Mai/01	2424	2330	271	0	886
Jun/01	2205	2219	243	0	750
Jul/01	1955	2126	287	16	939
Ago/01	1449	2298	251	6	1275 (853)
Set/01	1754	1963	202	1	767
Out/01	1979	2281	250	0	735
Nov/01	2172	2200	238	0	513
Dez/01	2677	1924	203	0	403
Jan/02	1437	2145	246	0	431
Fev/02	2542	1392	258	0	330
Mar/02	2194	1528	240	0	413
Abr/02	1723	1674	164	16	477
Mai/02	1836	1625	182	29	511
Jun/02	1901	1634	272	0	386
Jul/02	1699	1710	251	1	416
Ago/02	1604	1830	215	0	455
Set/02	1577	1723	235	95	401
Out/02	2015	2279	218	44	396
Nov/02	2325	1906	187	46	460
Dez/02	1548	1824	165	13	511

6.3.1 Análise da Série Temporal do Grupo Ligação

A série de dados históricos correspondentes à demanda de serviços do grupo Ligação está na Tabela 6.4. A modelagem da série é mostrada na Figura 6.3. As informações do modelo matemático selecionado para a série temporal são mostradas na Tabela 6.5.

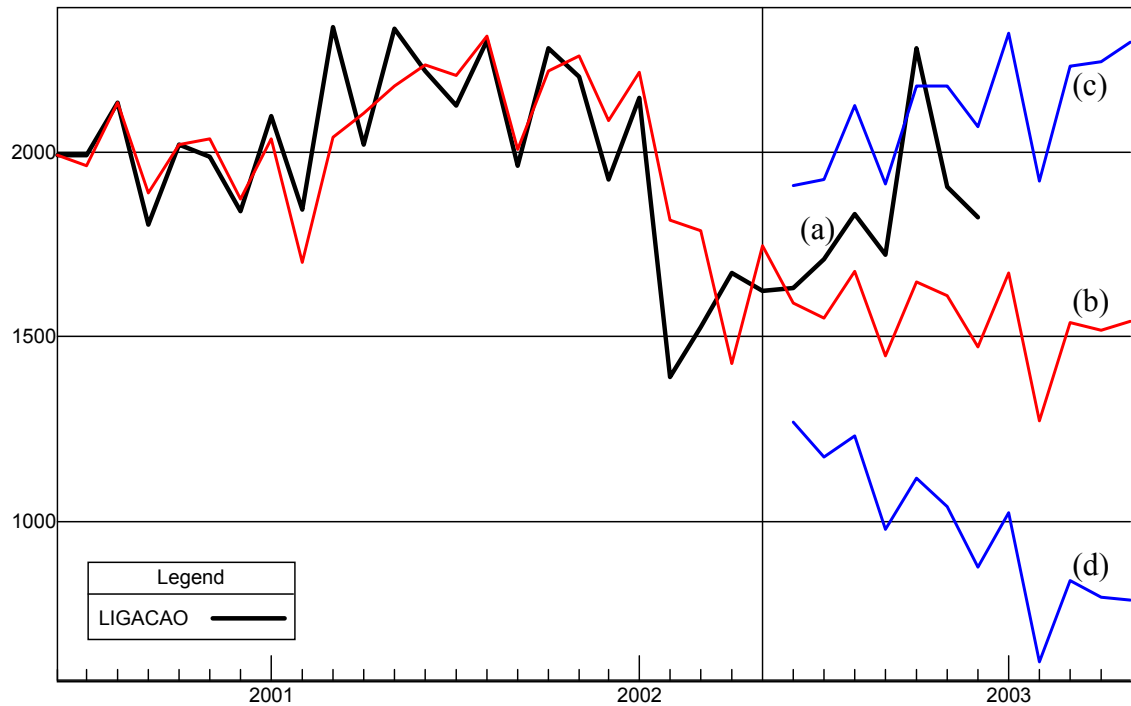


Figura 6.3: Análise da previsão de demanda do Grupo Ligação

Na figura 6.3 a linha (a) representa os dados históricos da série, já a linha (b) é correspondente aos valores previstos para o Grupo Ligação. Nesse momento, pode-se fazer uma inspeção visual no gráfico da linha (b), de previsão, em relação à linha (a), que é a série histórica. Pode-se notar que ambas as linhas estão juntas. As linhas (c) e (d) delimitam o intervalo de confiança de 95% para a demanda prevista.

Tabela 6.5: Dados do modelo para o Grupo Ligação

Característica da série	Estacionária e sazonal
Modelo Escolhido	Winters multiplicativo, $\alpha = 0,6402$ $\beta = 0,01102$ $\gamma = 0,99969$
Ajuste (R^2)	0,6457
MAPE	0,05772

Os serviços deste grupo no período de fevereiro de 2002 tiveram um significativo decréscimo, devido à estratégia proposta de não retirar mais o medidor das casas dos clientes por falta de pagamento, apenas desligar na caixa de proteção ou no ramal de ligação de acordo com análise da atividade.

Os dados da tabela 6.5 mostram o ajuste do (R^2) de 0,6457. Entretanto, como pode ser visto na figura 6.3 o valor realizado de Outubro de 2002 extrapolou o limite superior da previsão, reflexo também da estratégia, visto que somente após oito meses foi iniciada a retirada de alguns medidores por falta de pagamento contínuo, gerando, assim, o acúmulo. A tabela 6.6 mostra os valores mensalmente previstos para o Grupo de Ligação e os sete meses usados para avaliar o modelo (coluna Realizado).

Na tabela 6.6 a coluna “Realizado” representa os sete meses utilizados para avaliar o modelo estimado. Os mesmos valores podem ser vistos graficamente na figura 6.3 a partir do mês de junho/02 até dezembro/02.

Tabela 6.6: Resultados da previsão para o grupo Ligação no horizonte de um ano.

Período	Limite Inferior	Previsão	Limite Superior	Realizado
Jun/02	1271	1589	1907	1634
Jul/02	1179	1552	1926	1710
Ago/02	1232	1677	2122	1830
Set/02	982	1448	1914	1723
Out/02	1118	1647	2176	2279
Nov/02	1041	1610	2178	1906
Dez/02	881	1475	2068	1824
Jan/03	1026	1673	2319	
Fev/03	625	1272	1919	
Mar/03	843	1537	2230	
Abril/03	796	1519	2242	
Mai/03	788	1543	2297	

6.3.2 Análise da Série Temporal do Grupo Medição e Indenização

A série de dados históricos correspondentes à demanda de serviços do grupo Medição e Indenização estão na Tabela 6.4. A modelagem da série é mostrada na Figura 6.4. As informações do modelo matemático selecionado para a série temporal são mostradas na Tabela 6.7.

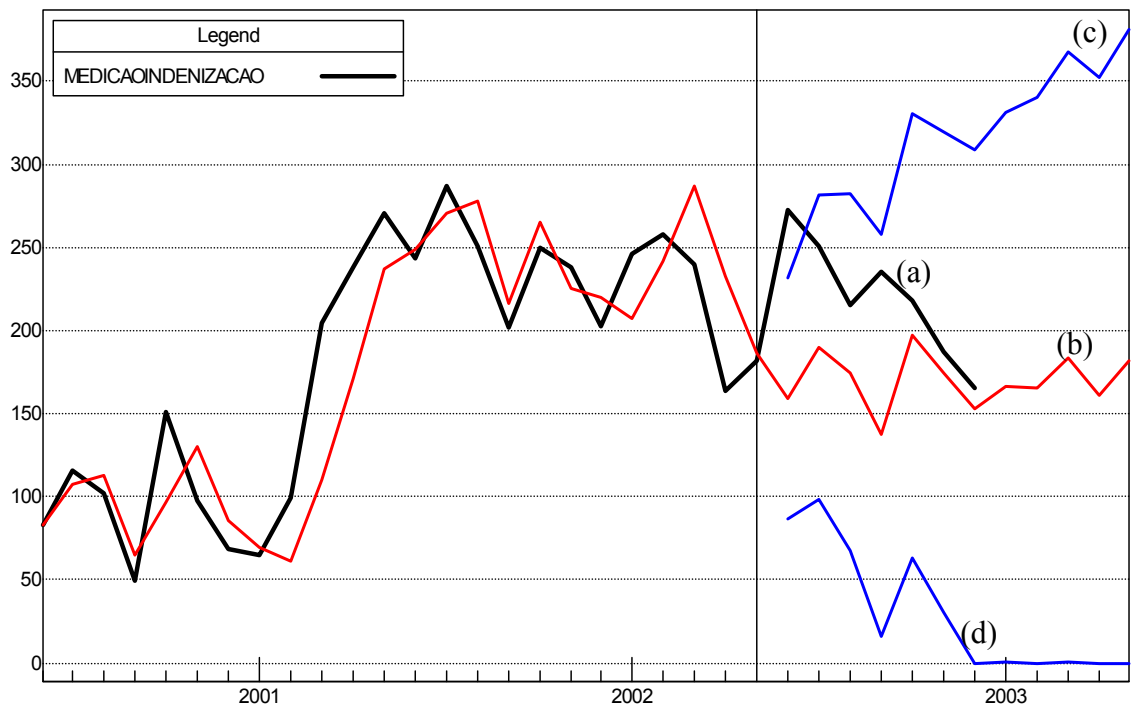


Figura 6.4: Análise da previsão de demanda do Grupo Medição e Indenização

Na figura 6.4 a linha (a) representa os dados históricos da série, já a linha (b) é correspondente aos valores previstos para a série temporal do Grupo Medição e Indenização. Nesse momento, pode-se fazer uma inspeção visual no gráfico da linha (b) de previsão em relação à linha (a) que é a série histórica. Pode-se notar que ambas as linhas estão próximas. As linhas (c) e (d) delimitam o intervalo de confiança de 95% para a demanda prevista.

Tabela 6.7: Dados do modelo ajustado para o Grupo Medição e Indenização

Característica da série	Tendência e sazonal
Modelo Escolhido	Winters Aditivo, $\alpha = 0,77378$ $\beta = 0$ $\gamma = 0,9970$
(R ²)	0,7646
MAPE	0,1711

Como pode ser visto na figura 6.4, os serviços pertencentes ao grupo de medição e indenização, no último semestre de 2000, eram pouco solicitados na região (ver figura 6.4 – linha (a)). A partir de fevereiro de 2001, fica claro que houve um acréscimo na demanda dessas atividades. Depois disso, o nível deste grupo de atividades se mantém estável.

A série continha um valor espúrio. Após a remoção do mesmo, o ajuste (R^2) aumentou de 0,68 para 0,76 (ver tabela 6.7). Na figura 6.4, a partir de maio/02 a dezembro/02, são apresentados graficamente os valores realizados mensalmente, que, estrategicamente, estão sendo utilizados para avaliar o modelo. Como mostra a figura 6.4 e a tabela 6.8, em um único mês (junho/02) a demanda realizada ultrapassou o limite superior do intervalo de confiança que compõe o horizonte da previsão.

Tabela 6.8: Resultados da previsão para o grupo Medição e Indenização no horizonte de um ano.

Período	Limite Inferior	Previsão	Limite Superior	Realizado
Jun/02	86	159	231	272
Jul/02	98	190	281	251
Ago/02	67	175	282	215
Set/02	16	137	258	235
Out/02	63	197	330	218
Nov/02	30	175	320	187
Dez/02	0	152	308	165
Jan/03	1	166	331	
Fev/03	0	166	340	
Mar/03	1	184	367	
Abril/03	0	161	352	
Mai/03	0	182	382	

6.3.3 Análise da Série Temporal do Grupo Divisão Técnica

A série de dados históricos correspondentes à demanda de serviços do grupo Divisão Técnica está na Tabela 6.4. A modelagem da série será mostrada na Figura 6.5 e as informações do modelo matemático selecionado para a série temporal são mostradas na Tabela 6.9.

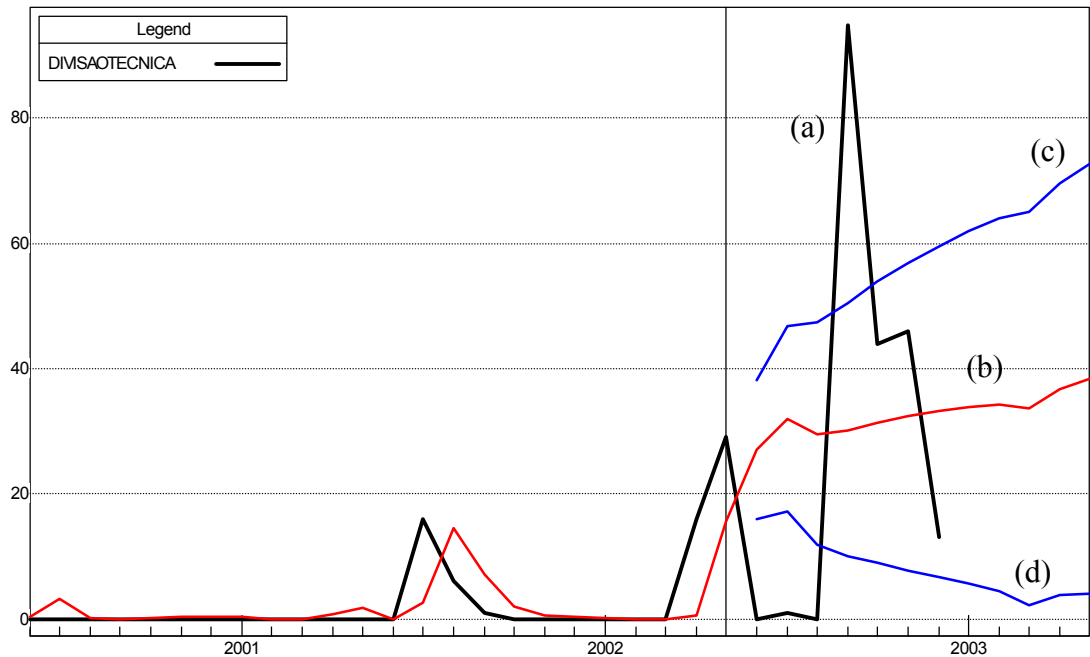


Figura 6.5: Análise da previsão de demanda do Grupo Divisão Técnica

Na figura 6.5 a linha (a) representa os dados históricos da série, e a linha (b) corresponde aos valores previstos para o Grupo Divisão Técnica. Nesse momento, pode-se fazer uma inspeção visual no gráfico da linha (b), de previsão, em relação à linha (a), que é a série histórica. As linhas (c) e (d) delimitam o intervalo de confiança de 95% para a demanda prevista.

Tabela 6.9: Dados do modelo ajustado para o Grupo Divisão Técnica

Característica da série	Tendência e sazonal
Modelo Escolhido	Winters multiplicativo, $\alpha = 0,86695$ $\beta = 0,02135$ $\gamma = 0,99187$
Ajuste (R^2)	0,389
MAPE	1,94

Como pode ser visto na Figura 6.5, a linha (a) ultrapassou o limite superior do intervalo de confiança (linha c). Segundo informações obtidas junto à empresa, este valor alto é devido a uma campanha (mutirão) realizada pelas equipes para verificação do nível de tensão nos transformadores da região. Esse grupo de atividades técnicas é gerado pela própria empresa.

Com a análise da série histórica desse grupo já se tem uma noção de aleatoriedade dos dados, visto a quantidades de valores zero na série (ver figura 6.5). O coeficiente de determinação (R^2) resulta em 0,389 (ver tabela 6.9), com esse valor o modelo é considerado deficiente. Entretanto, esse grupo representa apenas 0,06% do total de atividades realizadas na empresa. Os resultados da previsão encontram-se na tabela 6.10.

Tabela 6.10: Resultados da previsão para o grupo Divisão Técnica no horizonte de um ano.

Período	Limite Inferior	Previsão	Limite Superior	Realizado
Jun/02	19	30	41	0
Jul/02	15	31	46	1
Ago/02	13	32	51	0
Set/02	11	33	55	95
Out/02	9	34	58	44
Nov/02	7	34	61	46
Dez/02	6	35	65	13
Jan/03	5	36	67	
Fev/03	4	37	70	
Mar/03	3	38	73	
Abril/03	2	39	76	
Mai/03	2	40	78	

6.3.4 Análise da Série Temporal do Grupo Outras

A série de dados históricos correspondentes à demanda de serviços do grupo Outras está na Tabela 6.4. A modelagem da série será mostrada na Figura 6.6 e as informações do modelo matemático selecionado para a série temporal são mostradas na Tabela 6.11.

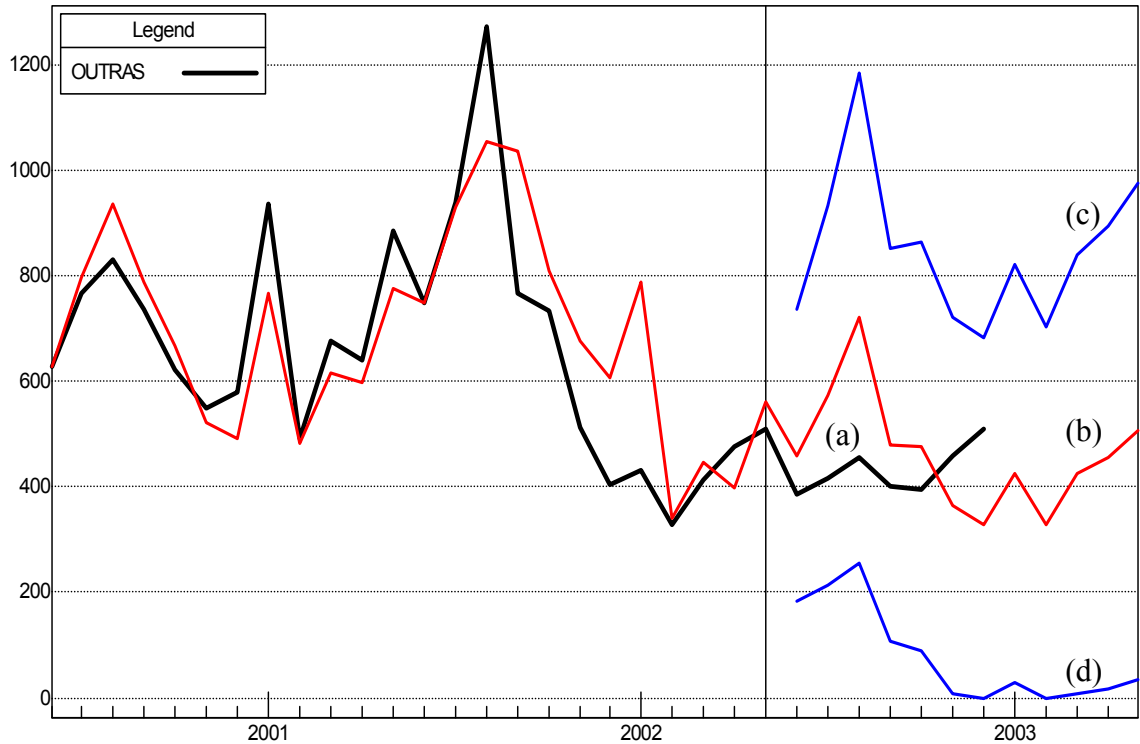


Figura 6.6: Análise da previsão de demanda do Grupo Outras

Na figura 6.6 a linha (a) representa os dados históricos da série, e a linha (b) correspondente aos valores preditos para o Grupo Outras. Nesse momento, pode-se fazer uma inspeção visual no gráfico da linha (b), de previsão, em relação à linha (a), que é a série histórica. Pode-se notar que ambas as linhas estão próximas. As linhas (c) e (d) delimitam o intervalo de confiança de 95% para a demanda prevista.

Tabela 6.11: Dados do modelo ajustado para o Grupo Outras

Característica da série	Tendência e sazonal
Modelo Escolhido	Winters multiplicativo, $\alpha = 0,60061$ $\beta = 0,00369$ $\gamma = 0,99984$
Ajuste (R^2)	0,6680
MAPE	0,1342

Após a remoção de valores espúrios, o ajuste da série, analisado a partir de seu coeficiente de determinação (R^2) aumentou de 0,62 para 0,668 (ver tabela 6.11). Como pode ser visto na figura 6.6, em função do bom ajuste e nenhum motivo estratégico da empresa

para esse grupo de atividades os valores previstos estão dentro do intervalo de confiança de 95%. Os resultados da previsão podem ser analisados na tabela 6.12.

Tabela 6.12: Resultados da previsão para o grupo Outras no horizonte de um ano.

Período	Limite Inferior	Previsão	Limite Superior	Realizado
Jun/02	247	434	622	386
Jul/02	271	523	776	416
Ago/02	230	515	801	455
Set/02	186	496	806	401
Out/02	151	484	817	396
Nov/02	59	394	729	460
Dez/02	25	371	717	511
Jan/03	110	499	887	
Fev/03	0	357	738	
Mar/03	34	444	854	
Abril/03	16	443	870	
Mai/03	39	493	947	

6.3.5 Análise da Série Temporal do Grupo Restabelecimento

A série de dados históricos correspondentes à demanda de serviços do grupo Restabelecimento está na Tabela 6.4. A modelagem da série será mostrada na Figura 6.7 e as informações do modelo matemático selecionado para a série temporal são mostradas na Tabela 6.13.

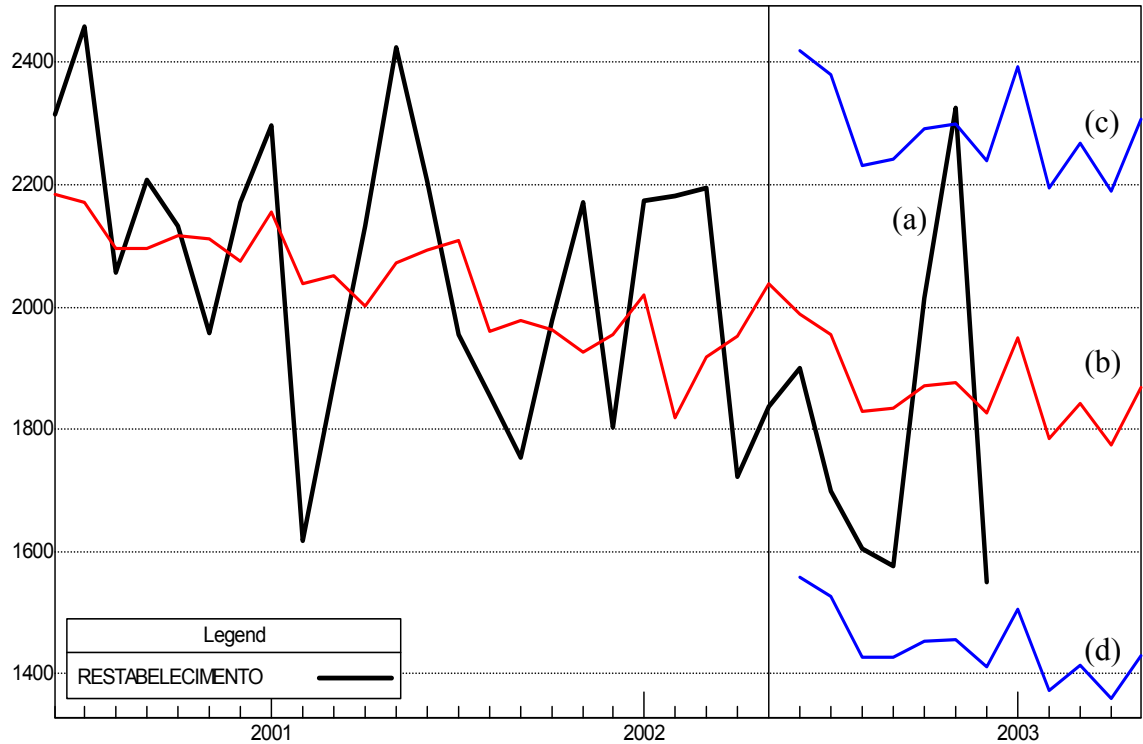


Figura 6.7: Análise da previsão de demanda do Grupo Restabelecimento

Na figura 6.7 a linha (a) representa os dados históricos da série, e a linha (b) corresponde aos valores previstos para a série temporal do Grupo de Restabelecimento. Nesse momento, pode-se fazer uma inspeção visual no gráfico da linha (b), de previsão, em relação à linha (a), que é a série histórica. Pode-se notar que existe um forte componente aleatório, visto que as duas linhas não estão aproximadas. As linhas (c) e (d) delimitam o intervalo de confiança de 95% para a demanda prevista.

Tabela 6.13: Dados do modelo ajustado para o Grupo Restabelecimento

Característica da série	Tendência e sazonal
Modelo Escolhido	Winters multiplicativo, $\alpha = 0,05793$ $\beta = 0,09538$ $\gamma = 0,0$
Ajuste (R^2)	0,1213
MAPE	0,08823

Esta série foi tratada, também, quanto a valores espúrios. Após a remoção de um ponto atípico, o ajuste (R^2) aumentou de 0 para 0,12 (ver tabela 6.13). Como pode ser visto na

Figura 6.7, o forte componente aleatório observado nos dados de demanda resultou num modelo com ajuste muito deficiente. Mesmo assim, os valores previstos ficaram dentro do intervalo de confiança, pois a variabilidade entre o maior e o menor número é grande. Neste contexto, desaconselha-se a utilização de dados históricos de demanda na previsão da demanda futura.

Este grupo, Restabelecimento, possui uma variável externa que não se pode prever com a assertividade desejada: as intempéries. Sabe-se apenas quais são os meses de maior intensidade de chuvas e temporais. Entretanto, o dimensionamento de equipas não é feito para exceções (maior índice de eventos) e sim pela média.

Devido ao baixo desempenho desse modelo, foram reavaliadas as séries históricas do grupo Restabelecimento. Foi identificada uma redução em torno de 10% a cada ano nas atividades desse grupo. Assim, considerando que a empresa faz manutenção preventiva para as atividades desse Grupo, esse será o índice utilizado para a previsão do horizonte desejado. Analisando o realizado de 2002, ver tabela 6.14, a média do segundo semestre de 2002, corresponde a 9% menos eventos.

Tabela 6.14: Resultados da previsão para o grupo Restabelecimento no horizonte de um ano.

Período	Limite Inferior	Previsão	Limite Superior	Realizado
Jun/02	1557	1989	2420	1901
Jul/02	1527	1954	2380	1699
Ago/02	1426	1829	2232	1604
Set/02	1428	1834	2242	1577
Out/02	1454	1872	2290	2015
Nov/02	1455	1877	2299	2325
Dez/02	1413	1827	2240	1548
Jan/03	1505	1949	2393	
Fev/03	1373	1784	2194	
Mar/03	1416	1841	2268	
Abril/03	1361	1775	2189	
Mai/03	1430	1869	2307	

6.3.6 Resumo dos resultados gerados com o Modelo de Previsão

De acordo com Pellegrini (2000), foram considerados bons modelos de previsão aqueles que obtiveram o ajuste (R^2) maior que 0,60, como mostra a tabela 6.15. Em contrapartida, aqueles que obtiveram o ajuste menor que 0,60 são considerados deficientes.

Tabela 6.15: Resumo dos ajustes obtidos na modelagem dos grupos do estudo de caso

Grupo	Ajuste (R^2)	Modelo
Ligação	0,6457	Bom
Medição e Indenização	0,7646	Bom
Divisão Técnica	0,389	Deficiente
Outras	0,6689	Bom
Restabelecimento	0,1213	Deficiente

Os resultados gerados do modelo de previsão serão úteis para o modelo de simulação. As previsões mensais resultam em uma média mensal para cada grupo de atividades (ver tabela 6.16).

Tabela 6.16: Dados finais para a geração de atividades no modelo de simulação

Grupo	Número de OS estimadas		
	Limite Inferior Média mensal (desvio padrão)	Previsão Média mensal (desvio padrão)	Limite Superior Média mensal (desvio padrão)
Ligação	982 (200)	1545 (113)	2108 (157)
Medição e Indenização	30 (38)	170 (17)	315 (45)
Divisão Técnica	8 (5)	35 (3)	62 (12)
Outras	114 (99)	454 (57)	797(88)
Restabelecimento	1445 (59)	1867 (67)	2288 (76)

6.4 APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

A aplicação do modelo de simulação ocorreu em duas etapas: a primeira, de validação do modelo e a segunda, de aplicação do modelo propriamente dito, utilizando como entrada os dados de saída do modelo de previsão de demanda.

Na primeira etapa foi necessário chegar o mais próximo possível da realidade do processo da empresa. Para conseguir isso, utilizou-se o mesmo número de atividades realizadas e a mesma quantidade de recursos. O modelo é considerado válido quando o resultado do modelo de simulação gerar o tempo médio de atendimento próximo ao realizado pelas equipes.

Na segunda etapa, agora com geração de quantidades de atividades diferentes, utilizando a quantidade estimada no modelo de previsão, foram simulados vários cenários a fim de avaliar o comportamento do tempo de atendimento em relação ao número de equipes. Com isso foi possível determinar a melhor escala de equipes por hora para a base operacional considerada.

6.4.1 Etapa da validação do modelo de simulação

Para o modelo de simulação é necessário coletar vários dados. Cada grupo se comporta de uma maneira diferente em relação à quantidade gerada dessas atividades. Por outro lado, possuem a mesma distribuição exponencial no que se refere a taxa de chegada dos eventos.

Para conhecer o comportamento da taxa de chegada das atividades dos grupos foram coletados dados como a hora de chegada. Esses dados permitiram calcular o tempo entre as chegadas. Todos os grupos se comportaram como uma distribuição exponencial, ou seja, existe uma probabilidade maior de atividades que chegam bem seguidas uma das outras e uma probabilidade menor de chegada entre as atividades. A Tabela 6.17 mostra todas as distribuições exponenciais com os respectivos tempos médios entre as chegadas.

Tabela 6.17: Dados históricos para a validação do modelo de simulação

Grupo	Distribuição Estatística Probabilidade de chegada das atividades (min)	Tempo de deslocamento		Tempo de execução (min)	Nº de equipes, (Escala)
		Urbano (min)	Rural (min)		
Ligação	Exp (18,9)	Norm(17,3)		Norm(30,6)	
Medição e Indenização	Exp (205)	Norm(17,3)		Norm(25,3)	20, (2/8 –
Divisão Técnica	Exp (10000)	Norm(17,3)		Norm(90,10)	10/10 –
Outras	Exp (60)	Norm(17,3)		Norm(30,2)	3/6)
Restabelecimento	Exp (18)	Norm(16,2)	Norm(29,5)	Norm(28,6)	

Quanto aos tempos de deslocamento e execução, também se coletaram dados históricos para a geração da distribuição estatística mais apropriada para o modelo de simulação. A empresa possui esses tempos registrados para as atividades do Grupo de Restabelecimento, que são as atividades emergenciais. Foram analisados os dados relativos ao tempo de execução e deslocamento desse grupo e verificou-se um comportamento semelhante ao da distribuição Normal.

Para os demais grupos o tempo de deslocamento adotado foi uma média ponderada das atividades dos grupos realizadas em área urbana e rural, dado esse retirado das atividades emergenciais (18% das atividades são executadas na área rural e 82% em área urbana). Apesar desses tempos não serem dos outros grupos adotou-se o mesmo critério. O tempo de execução adotado também foi uma média ponderada em relação às atividades pertencentes a cada grupo. Para ambos os tempos adotaram-se o comportamento de uma distribuição Normal. Ver na Tabela 6.17 as hipóteses assumidas.

Como mostra a Tabela 6.17, são 20 as equipes alocadas na região da base operacional de Gravataí, e a necessidade por hora é: 2 equipes das 00:00hs – 8:00hs, 10 equipes das 8:00hs – 18:00hs e 3 equipes das 18:00 – 24:00hs. As equipes trabalham 7:20hs por dia, 6 (seis) dias por semana.

As características dos grandes grupos, bem como a sua prioridade, prazos e horário de atendimento já foram descritos no item 6.2 deste capítulo (Tabela 6.3). Na simulação

utilizaram-se 12 replicações, caracterizando os doze meses do ano, podendo assim representar a sazonalidade existente durante o ano.

Após executada a simulação, com suas replicações, têm-se os seguintes resultados, mostrados na tabela 6.18. Como se pode identificar, a quantidade média de OS geradas mensalmente pelo modelo de simulação está muito próximo da realidade da empresa. Portanto, o modelo de simulação não se afasta significativamente da média de eventos gerados na realidade da empresa. Pode-se perceber isso em função do desvio padrão dos valores obtidos.

Tabela 6.18: Número de ordens de serviço geradas após simulação e dados reais da empresa para a validação do modelo de simulação

Grupo	Nº de OS geradas – média	Nº de OS geradas - média	Erro (%)
	mensal (desvio padrão) Simulação	mensal (desvio padrão) Realizado	
Ligação	1970 (51)	1957 (249)	+0,66
Medição e Indenização	180 (13)	191 (73)	-6,11
Divisão Técnica	5 (2)	9 (20)	-80,00
Outras	607 (17)	610 (214)	-0,49
Restabelecimento	2074 (51)	2029 (341)	+2,17

A tabela 6.19 mostra a comparação do tempo médio de atendimento gerado pelo modelo de simulação e o realizado na empresa. Como foi escrito anteriormente, valor relativo a tempos de atendimentos das atividades comerciais e técnicas não possuem série histórica para comparação. Entretanto, obteve-se informações de especialistas na empresa que confirmaram os resultados da simulação. Os tempos médios de atendimento das atividades do Grupo de Restabelecimento mostram que o modelo se aproximou da realidade, pois obteve um erro de 1,09%.

Tabela 6.19: Tempo médio de Atendimento gerado após Simulação e dados reais da Empresa para a validação do modelo de simulação.

Grupo	Simulação	Realizado	Erro (%)
	Tempo médio de Atendimento (desvio padrão)	Tempo médio de Atendimento (desvio padrão)	
Ligação	7:40 hs (20 minutos)		
Medição e Indenização	168:40hs (37:49hs)		
Divisão Técnica	70:03hs (54:14hs)		
Outras	177:12hs (44:23hs)		
Restabelecimento	1:32hs (4 minutos)	1:31hs	+1,09

Considerando os dados das tabelas 6.18 e 6.19, pode-se verificar que os valores correspondentes aos erros estão relativamente baixos. Isso indica que pode-se aceitar o modelo de simulação e passar a realizar outras simulações.

6.4.2 Etapa de simulação com os dados da previsão de demanda

Depois de validado o modelo, pode-se fazer as alterações do volume de geração das atividades dos grandes grupos, de acordo com o estimado no modelo de previsão. As novas taxas de chegadas das atividades dos grupos do modelo de simulação estão identificadas na Tabela 6.20.

Tabela 6.20: Dados de entrada para as simulações

Grupo	Taxa de chegada das atividades	Tempo de deslocamento		Tempo de execução (min)	Nº de equipes
		Urbano (min)	Rural (min)		
Ligação	Exp (23)	Norm(17,3)		Norm(30,6)	
Medição e Indenização	Exp (205)	Norm(17,3)		Norm(25,3)	
Divisão Técnica	Exp (1440)	Norm(17,3)		Norm(90,10)	Variável
Outras	Exp (80)	Norm(17,3)		Norm(30,2)	
Restabelecimento	Exp (20)	Norm(16,2)	Norm(29,5)	Norm(28,6)	

Foram criados sete cenários, cada um representando a intenção de atender a demanda solicitada pelos clientes com um certo número de equipes. Os dados de entrada do modelo de simulação (tabela 6.21) são sempre os mesmos: tempo médio de deslocamento urbano, tempo médio de deslocamento rural, tempo médio de execução de cada grupo, a exceção do número de equipes, que varia com a necessidade. Como pode ser visto na Tabela 6.21, depois de executar as simulações tem-se os registros do tempo médio de atendimento, tanto da área rural como urbana, para o grupo de restabelecimento, das ocorrências contidas nos grupos.

Tabela 6.21: Cenários criados e os resultados de tempo médio de atendimento da simulação

Cenários	Escalas	Tempo de Atendimento /(Grupos)					
		Restabelecimento (minutos)		Ligação (horas)	Medição e Indenização (horas)	Divisão Técnica (horas)	Outras (horas)
		Urbano	Rural				
1	(2/8 – 8/10 – 3/6)	72	234	8:31	230:30	220:12	237:13
2	(2/8 – 10/10 – 3/6)	70	168	6:42	15:58	16:10	16:00
3	(2/8 – 11/10 – 3/6)	70	156	6:24	9:59	10:13	9:51
4	(2/8 – 12/10 – 3/6)	69	150	6:13	9:00	9:10	8:56
5	(2/8 – 13/10 – 3/6)	69	147	6:05	8:28	8:36	8:25
6	(2/8 – 14/10 – 3/6)	69	144	5:58	8:04	8:12	8:02
7	(2/8 – 20/10 – 3/6)	69	136	5:36	6:49	6:58	6:50

As variações das escalas de equipes de eletricitistas adotadas nos sete cenários foram formadas pela prática obtida na empresa e a partir de análise dos resultados obtidos com a simulação. As escalas com o número de equipes necessárias por hora passarão pelo modelo de alocação para que o planejamento da capacidade seja otimizado e se passe a avaliar a real necessidade do número de equipes para aquela região.

6.4.3 Resumo sobre os resultados gerados com o Modelo de Simulação

No modelo de simulação foram criadas as escalas da necessidade de equipes por hora. Esses dados serão restrições para o modelo de Alocação. Na tabela 6.22 pode-se verificar essas escalas.

Tabela 6.22: Escalas criadas para o modelo de alocação

Cenários	Escalas
1	$(2/8 - 8/10 - 3/6)$
2	$(2/8 - 10/10 - 3/6)$
3	$(2/8 - 11/10 - 3/6)$
4	$(2/8 - 12/10 - 3/6)$
5	$(2/8 - 13/10 - 3/6)$
6	$(2/8 - 14/10 - 3/6)$
7	$(2/8 - 20/10 - 3/6)$

6.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE ALOCAÇÃO

O modelo de alocação é o último a ser utilizado, mas é de extrema importância. Ele minimizará o número de equipes necessárias para atender a demanda de serviço solicitado. Fixando a função objetivo, que é minimizar equipes, atribuindo as restrições necessárias para a alocação e executando o modelo de alocação, tem-se o resultado como mostrado na Tabela 6.23.

Tabela 6.23: Número de equipes

Cenários	Escalas	Número de Equipes
1	$(2/8 - 8/10 - 3/6)$	16
2	$(2/8 - 10/10 - 3/6)$	20
3	$(2/8 - 11/10 - 3/6)$	22
4	$(2/8 - 12/10 - 3/6)$	24
5	$(2/8 - 13/10 - 3/6)$	26
6	$(2/8 - 14/10 - 3/6)$	28
7	$(2/8 - 20/10 - 3/6)$	40

6.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 6.24 é um resumo de todos os resultados dos três modelos. Como se pode visualizar na Tabela 6.24 a única informação que permanece igual nos sete cenários é a demanda estimada de atividades geradas através do modelo de previsão. Já o modelo de

simulação gera tempos médios de atendimento diferentes para cada cenário. O mesmo acontece com o modelo de alocação, que gera um número de equipes diferente para cada cenário.

Como pode ser visto no cenário 1 na Tabela 6.24, com 16 equipes e se a geração de atividades for próxima à estimada pode-se dizer que o tempo médio de atendimento, tanto urbano como rural, do grupo restabelecimento será, respectivamente 72 e 234 minutos. Já as atividades do Grupo Ligação serão atendidas, na média, em 8 horas e 31 minutos. As atividades do Grupo Medição e Indenização, do Grupo Divisão Técnica e do Grupo Outras serão atendidas, na média, respectivamente, em 230 horas e 30 minutos, 220 horas e 12 minutos e 237 horas e 13 minutos. Pode ser feita a mesma leitura para os demais cenários.

Tabela 6.24: Resumo Geral dos Resultados

	Modelo de Previsão	Modelo de Simulação						Modelo de Alocação
Cenários	Demanda Estimada de Atividades	Tempo de Atendimento / (Grupos)						Número de Equipes
	Grandes Grupos (médias mensais)	Restabelecimento (minutos)		Ligação (horas)	Medição e Indenização (horas)	Divisão Técnica (horas)	Outras (horas)	
		Urbano	Rural					
1	Restabelecimento (1867) Ligação (1545) Méd. Ind. (170) Divisão Técnica (35) Outras (454)	72	234	8:31	230:30	220:12	237:13	16
2		70	168	6:42	15:58	16:10	16:00	20
3		70	156	6:24	9:59	10:13	9:51	22
4		69	150	6:13	9:00	9:10	8:56	24
5		69	147	6:05	8:28	8:36	8:25	26
6		69	144	5:58	8:04	8:12	8:02	28
7		69	136	5:36	6:49	6:58	6:50	40

Para a região em estudo, base operacional de Gravataí, chega-se ao resultado que são necessárias 24 equipes de eletricitas para atender a demanda futura de Ordens de Serviço. Número de equipes maior do que o pessoal existente na empresa para essa área. Entretanto, essa é uma das 62 bases existentes na empresa. Será precipitado concluir que existe falta de pessoal em toda a empresa.

Para avaliar melhor a relação entre o número de equipes e o tempo médio de atendimento das atividades do Grupo de Restabelecimento, construíram-se gráficos de linha. No eixo X está a variável de tempo e no eixo Y a variável número de equipes. Na Figura 6.8, pode-se avaliar o comportamento da curva do tempo médio de atendimento ao consumidor em áreas urbanas em relação ao número de equipes.

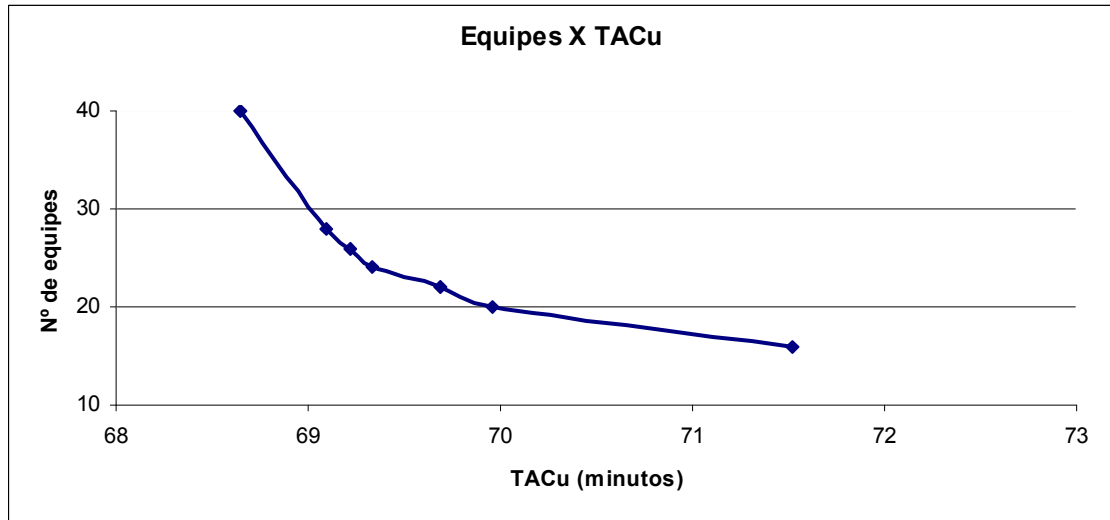


Figura 6.8: Número de Equipes X TACu (Tempo de Atendimento ao Consumidor Urbano)

A Figura 6.9 mostra o comportamento da curva do tempo médio de atendimento ao consumidor em áreas rurais em relação ao número de equipes.

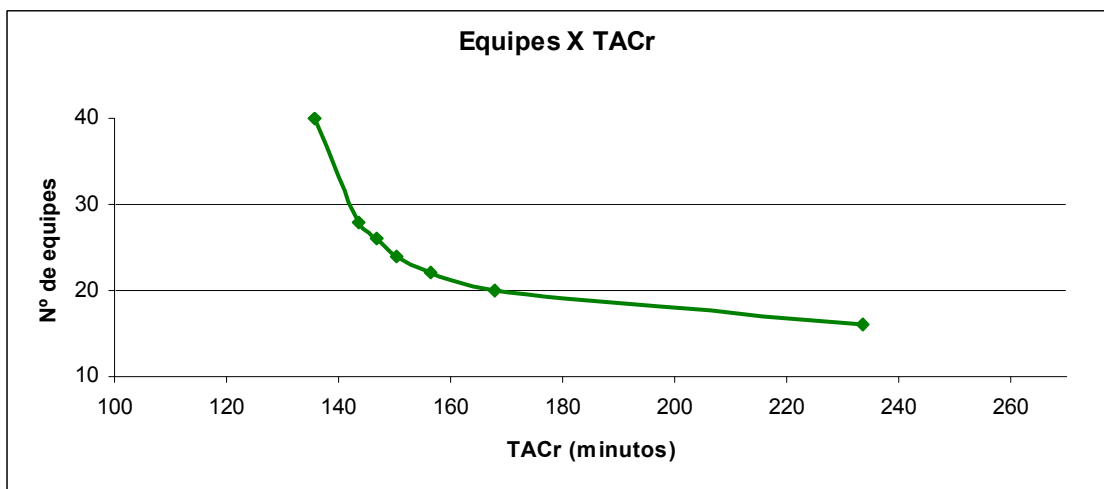


Figura 6.9: Número de Equipes X TACr (Tempo de Atendimento ao Consumidor Rural)

A Figura 6.8 mostra que para atender os clientes da empresa com o tempo de 70 minutos em área urbana precisa-se de 20 equipes. Entretanto, a figura 6.9, necessita de 24

equipes para atender no prazo de 150 minutos os clientes rurais da empresa. Para cumprir os prazos de atendimento, na área rural, há necessidade de 24 equipes para a região em estudo.

Considerando que as proporções dos atendimentos em área urbana e rural da região, respectivamente 82% e 18%, da base operacional de Gravataí não vão alterar muito, pode-se ponderar o TACu e TACr e conhecer o comportamento da curva do TMA em relação ao número de equipes. O TMA resultante será de 84 minutos, a Figura 6.10 mostra essa curva e nos descreve que são necessárias 24 equipes para atender a região.

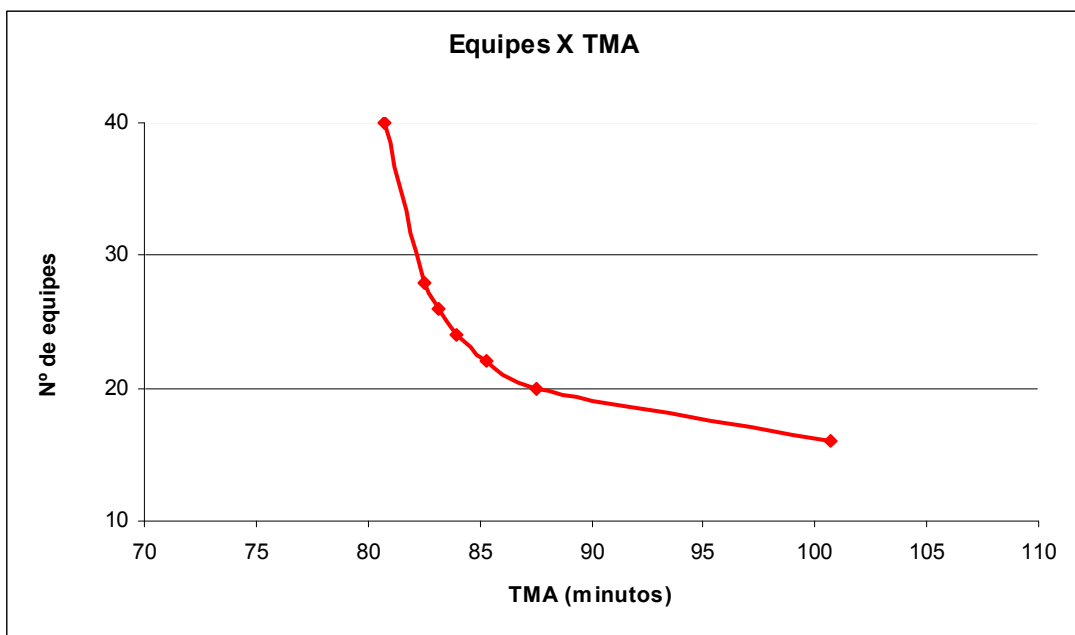


Figura 6.10: Número de Equipes X TMA (Tempo Médio de Atendimento)

No capítulo 7 serão abordadas as conclusões da dissertação e recomendações para estudos futuros.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um método para dimensionar equipes em uma empresa do setor elétrico prestadora de serviços de fornecimento de energia, levando em conta uma estimativa de demanda futura de serviços solicitados pelos clientes. Considerando os experimentos analisados, para previsão de demanda, simulação e alocação de recursos, pode-se chegar a algumas conclusões e recomendações para estudos futuros, as quais passarão a ser apresentadas.

7.1 CONCLUSÕES

A aplicação de conceitos teóricos, método ABC, na prática da empresa possibilita o conhecimento preliminar das atividades e do processo de atendimento dos serviços ofertados, permitindo estabelecer ações que resultam em benefícios para a empresa.

O uso do modelo de previsão nas atividades realizadas pelas equipes de eletricitas da empresa possibilita ter-se uma estimativa da demanda futura. Pode-se analisar também, uma forte integração entre a Universidade e a empresa em estudo, pois a última expôs a dificuldade de modelar dados reais tendo em vista a aleatoriedade de algumas das séries temporais. Essa demanda variável, pode ser explicada por técnicos da empresa.

A aplicação do modelo de simulação, no processo de atendimento das atividades estimadas das equipes de eletricitas da empresa, permite conhecer a necessidade de equipes por hora para atender as Ordens de Serviço no tempo estabelecido pelo contrato de concessão da empresa. As técnicas de simulação podem, através da modelagem do processo, proporcionar o entendimento do processo real e ter mais sensibilidade de como se comportam as variáveis em estudo, tempo médio de atendimento e número de equipes.

O uso do modelo de alocação possibilitou a minimização do número de equipes requeridas ao longo do dia para a área em estudo. As técnicas de alocação produzem o melhor resultado do número de equipes necessárias, sendo a solução mais econômica possível para a empresa.

O método proposto, sendo as aplicações dos modelos de previsão, simulação e alocação de forma sequencial, permite definir o número de equipes necessárias para a área de estudo possibilitando atender os indicadores estabelecidos pelo órgão regulador do setor elétrico, ANEEL. Esse conhecimento possibilita auxiliar o gestor de serviços na tomada de decisão na área de recursos humanos, pois se pode criar e, o mais importante, testar quantos cenários forem necessários, sem interferir no processo real da empresa.

O experimento relatado no estudo de caso mostra que um aumento na demanda irá refletir na necessidade de equipes de eletricitas de uma forma exponencial, ao invés de linear, como era usualmente praticado pelos gestores da empresa.

Deve ser lembrado que o dimensionamento é feito para valores médios, ou seja, dias normais. Então, quando, ocorre a influência de fatores externos, como muita chuva, vendavais ou descargas elétricas, outras atitudes devem ser tomadas para melhorar o desempenho dos eletricitas e minimizar o tempo de atendimento ao consumidor.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como recomendação para melhorar o desempenho do modelo de previsão poderá ser desenvolvido, com séries históricas maiores dos serviços realizados, possibilitando aumentar o número de modelos analisados para a série em estudo.

A aplicação do modelo de simulação pode ser construída para todas as bases operacionais e as equipes alocadas para aquela base possuem prioridade de atendimento solicitado dentro da região, mas pode auxiliar a base vizinha caso necessário.

O estudo pode ser realizado para todas as bases operacionais da área de concessão da empresa com a finalidade de ajustar o número de equipes ideal para cada base operacional.

Um passo muito importante no desenvolvimento desse estudo será colocar um fator global de custo, poder alocar as bases em diferentes pontos estratégicos envolvendo outras áreas da empresa, como suprimentos que controla a entrega de materiais e telemática, que cuida da comunicação, até obter o cenário mais econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARES, Hesham K. **An Efficient Two-Phase Algorithm for Cyclic Days-Off Scheduling.** Computers Operations Research, Vol. 25, N° 11, 1998, pp. 913-923.
- BAKER, K. R. **Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problem: A Survey.** Operational Research Quarterly, Vol. 27, N° 1, 1976, pp. 155-167.
- BALLOU, Ronald H., **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física.** Ed Atlas; São Paulo, 1993.
- BANKS, Jarry, CARSON, John S., NELSON, Barry L., **Discrete-Event System Simulation.** 2°ed, Prentice-Hall International Series, New Jersey, 1995.
- BEAUMONT, Nicholas **Scheduling Staff using mixed integer programming.** European Journal of Operations Research, Vol 98, 1997, pp. 473-484.
- BILLIONNET, Alain **Integer Programming to Scheduling a Hierarchical Workforce with Variable Demands.** European Journal of Operations Research, Vol 114, 1999, pp. 105-114.
- BRUSCO, Michael J., JOHNS, T. Reid, **The Effect of Demand Characteristics on Labour Scheduling Methods.** International Journal of Operations & Management, Vol. 15, N° 1, 1995, pp. 74-88.
- BRUSCO, Michael J., JACOBS, Larry W. **Optimal Models for Meal-Break and Start-Time Flexibility in Continuous Tour Scheduling.** Management Science, Vol. 46, N° 12, 2000, pp. 1630-1641.

- BRUSCO, Michael J., JACOBS, Larry W. **Personnel Tour Scheduling When Starting-Time Restrictions are Present.** *Management Science*, Vol. 44, N° 4, 1998.
- DANTZIG, G. B. **Acomment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths"** *Operations Research*, Vol. 2, N° 3, 1954, pp. 339-341.
- DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da Administração da Produção.** 3ª ed., Porto Alegre, Bookman Editora, 2001.
- ELSAYED, E. A. , BOUCHER, T.O.. **Analysis and Control of Production Systems.** 2ª ed., Prentice Hall, New Jersey, 1994
- FITZSIMMONS, James A.; FITZSIMMONS, Mona J. **Administração estratégica de serviços: operações, estratégia e tecnologia de informação.** 2ª ed., Bookman Editora, São Paulo, 1998.
- FORECAST PRO, Versão 3.0 (1999). User's manual, Business Forecast Systems Inc., MA
- GUJARATI, D.N. **Econometria Básica.** 3ª ed , MAKRONS Books, São Paulo, 2000.
- GOODALE, John C.; TUNC, Enar. **Tour Scheduling with dynamic service rates.** *International Journal of Services Industry Management*, Vol. 9, N° 3, 1998, pp. 226-247.
- GROOTHUIS, Siebren; MERODE, Godefridus G.e HASMAN, Arie. **Simulation as decision tool for capacity planning.** *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 66, 2001, pp. 139-151
- PARAGON Systems Modeling Corp. **Introdução à Simulação com ARENA 4.0.**, São Paulo, 2000.
- JACOBS, Larry W.; BECHTOLD, Stephen E. **Microcomputer – based Workforce Scheduling.** *International Journal of Services Industry Management*, Vol. 4, N° 1, 1993, pp. 36-48.
- JACOBS, Larry W.; BRUSCO, Michael J. **Overlapping Start-time Bands in Implicit Tour Scheduling.** *Management Science*, Vol. 42, N° 9, 1996, pp 1247-1259.
- LAW, Averill M. e KELTON, W. David. **Simulation Modeling&Analysis.** McGraw-Hill International Editions, 1991.

- LIN, C. K. Y., LAI K. F. e HUNG S. L. **Development of a workforce management system for a customer hotline service.** Computer & Operations Research, Vol 27, 2000, pp 987-1004
- LOBÃO, Elírio de Carvalho, PORTO, Arthur José Vieira. **Evolução das Técnicas de Simulação.** ABEPRO, Produção, Vol 9, nº1, p.13-22, Rio de Janeiro 1999.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.C. E HYNDMAN, R. J. **Forecasting – Methods and Applications.** 3^a ed., Wiley, New York., 1998.
- MARIA, Anu. **Introduction to Modeling and Simulation.** Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.
- MARTINS, Bruno B.; FONSECA, Adelaida P **Algoritmo de simulação para a programação e roteirização de frotas de indústrias agro-alimentares de pequeno e médio porte utilizando Excel e Sistemas de informação Geográfica.** Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000. Anais do XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte - ANPET. Rio de Janeiro, 2000.
- MASON, Andrew J., RYAN, David M., PANTON, David M **Integrated Simulation, Heuristic and Optimisation Approaches to Staff Scheduling.** Operations Research, Vol. 46, Nº 2, 1998, pp. 161-175.
- MELACHRINOUDIS, Emanuel; OLAFSSON, Michael A **Microcomputer cashier scheduling system for supermarket stores.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 25, Nº 1, 1995, pp. 34-50.
- MICROSOFT EXCEL for Windows 2000, Version 2000, Microsoft Corporation, Redmond, WA 2000
- MONTGOMERY, D. C.; JOHNSON, L. A. e GARDINER, J.S. **Forecasting and Time Series Analysis.** 2^a ed., McGraw-Hill, Inc., New York, 1990.
- PELLEGRINI, F.R. e FOGLIATTO, F.S. **Estudo Comparativo entre os Modelos de Winters e de Box-JenKins para Previsão de Demanda Sazonal.** Produto & Produção, Vol.. 4, n.2, pg. 111-124,2000

- PIDD, Michael. **Modelagem Empresarial: ferramentas para a tomada de decisão.** Artes Médicas, Porto Alegre, 1998.
- POWELL, Susan. **Using Linear Programming to Simulate Service Engineers.** Journal of the Operational Research Society, vol. 50, 1252-1255pg, 1999.
- PRADO, Darci. **Teoria das Filas e de Simulação.** Série Pesquisa Operacional. Editora DG, volume 2, Belo Horizonte, 1999.
- Rio Grande Energia S.A..**Manual do Eletricista Padrão.** Versão 3, Porto Alegre, 2001.
- SALIBY, Eduardo. **Repensando a Simulação: a Amostragem Descritiva.** Ed. Atlas, Rio de Janeiro, 1989.
- SHANNON, Robert E. **Systems Simulations: The Art and Science.** Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.
- SPIEGEL, M.R. **Probabilidade e Estatística.**, McGRAW-Hill do Brasil, Rio de Janeiro 528p. 1978.
- STELLWAGEN, E. A., GOODRICH, R. L. **Forecast Pro - versão 3** Business Forecast Systems, Inc, 1999.
- THOMPSON, Gary M. **Improved Implicit Optimal Modeling of the Labor Shift Scheduling Problem.** Management Science, Vol. 41, Nº 4, 1995, pp. 595-607.
- THOMPSON, Gary M. **Optimal Scheduling of Shifts and Breaks Using Employees Having Limited Time-Availability.** International Journal of Services Industry Management, Vol. 7, Nº 1, 1996, pp. 56-73.
- VENKATARAMAN, R.; BRUSCO, Michael J. **An Integrated Análisis of Nurse Staffing and Scheduling Policies.** Omega, International Journal of Management Science, Vol. 24, Nº 1, 1996, pp. 57-71.
- WAGNER, Harvey M. **Pesquisa Operacional.** 2º ed, Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1986.

WHITT, Ward **Dinamic staffing in a telephone call center aiming to immediately answer all calls.** Operations Research Letters, Vol 24, 1999, pp 205-212

ANEXOS

	Descrição - Ordens de Serviço	% do total de atividades	% Acumulada	
28	EM-02 - Arvore tocando na rede	0,35	95,464	Grupo C
29	Notificação de Reparação na Instalação	0,34	95,808	
30	MT-02 - Verificação de Nível de Tensão - Luz Fraca	0,34	96,145	
31	MT-06 - Fio desencapado - substituir	0,33	96,475	
32	MT-04 - Fios Enredados ou Muito Baixos	0,31	96,788	
33	Danos em aparelhos	0,30	97,090	
34	O/S - Verificar leitura ME (reclamação excesso consumo) - B	0,25	97,335	
35	EM-04 - Poste caído ou quebrado	0,24	97,575	
36	MT-01 - Poste em mau estado	0,24	97,813	
37	O/S - Religar URGENTE - Corte Indevido	0,23	98,047	
38	Instalar Medidor	0,23	98,277	
39	MT-03 - Deslocamento de Poste ou Estai	0,21	98,492	
40	MT-05 - Poda a pedido do Cliente	0,14	98,629	
41	O/S - Contatar com o Cliente - nega acesso leitura	0,11	98,743	
42	Instalar Aferidor a Pedido do Cliente	0,11	98,851	
43	Verificação dos Dados do Cliente	0,10	98,948	
44	Colocar ME e Ligar UC - AT	0,09	99,042	
45	Redução de Carga	0,09	99,134	
46	Revisão de Cadastro	0,08	99,218	
47	Retirar Aferidor	0,08	99,299	
48	Substituir ME - AT	0,08	99,379	
49	Religar com O/S de Corte em Execução - AT	0,07	99,448	
50	Retirar ME p/Aferição a Pedido Cliente	0,07	99,515	
51	Retirar ME e Desligar Chave - AT	0,06	99,574	
52	O/S - Verif. dados medidor kWh	0,06	99,633	
53	O/S - Outras Causas	0,05	99,686	
54	O/S - Verificar dados gerais do ME a pedido Cliente	0,03	99,718	
55	Ligar Direto - BT	0,03	99,747	
56	O/S - Confirmar endereço	0,03	99,776	
57	Religar - AT - Urgente	0,03	99,804	
58	Instalar Aferidor a Pedido RGE	0,02	99,829	
59	O/S - Verificar danos no(s) Aparelho(s) Elétrico(s)	0,02	99,854	
60	EM-09 - Desligamento programado-pedido Cliente AT	0,02	99,875	
61	Troca de Medidor	0,02	99,892	
62	Retirar ME p/Aferição a Pedido RGE	0,01	99,907	
63	Verificar Acesso à Medição a Pedido RGE	0,01	99,921	
64	Desligar Chaves - AT	0,01	99,932	
65	Vistoriar para Ligar Nova UC	0,01	99,943	
66	Inspeção de Viabilidade de Fornecimento	0,01	99,952	
67	O/S - Verificar lacre do ME e CP a pedido RGE	0,01	99,960	
68	O/S - Revisar instalação (ME, conexões, lacres, etc.)	0,01	99,967	
69	Religar - AT Normal	0,01	99,973	
70	Revisar ME e Ligar UC - AT	0,01	99,979	
71	Verificar Constante de Medição a Pedido RGE	0,01	99,985	
72	Desligar ramal caso esteja autoreligado	0,005	99,990	
73	Colocar ME e ligar UC provisório - BT	0,002	99,992	
74	Retirar ME por Falta de Pgto - AT	0,002	99,994	
75	Colocar faixas	0,001	99,995	
76	Cortar UC provisório s/ME - BT	0,001	99,996	
77	Ligar UC Provisório s/ ME - BT	0,001	99,997	
78	O/S - Verificar atividade a pedido da RGE	0,001	99,998	
79	O/S - Verificar dados do contrato	0,001	99,999	
80	Retirar ME e Ramal de UC Provisório - BT	0,001	100	